

RESUMEN

Este trabajo es una revisión bibliográfica sobre “Los carotenoides y su aplicación en la Biotecnología Ambiental”. La contaminación del medio ambiente, es uno de los problemas en la actualidad de mayor interés para la sociedad. Se necesita encontrar formas de avanzar con las nuevas tecnologías y aprovechar los recursos naturales de maneras limpias para evitar efectos negativos en el medio ambiente. Por esta razón, se describe como la biotecnología ambiental ha introducido a los carotenoides como su objetivo, al crear formas de energía renovable para la producción de electricidad, y fabricar celdas fotovoltaicas con principios fotosintéticos con la aplicación de pigmentos naturales. Las celdas fotovoltaicas sensibilizadas con colorante, DSSC (Dye-sensitized solar cells); creadas por Michael Grätzel, se han fabricado empleando dióxido de titanio o zinc como semiconductores; dos electrodos: uno simple y un contraelectrodo; un electrolito y pigmentos naturales. Se realizan los extractos de las flores, frutas o raíces, para la obtención de los carotenoides. Este extracto se impregna en las sustancias semiconductoras, por alrededor de 24 horas. Se realizan los circuitos en serie o paralelo dependiendo de lo que se quiera obtener. Se utiliza una fuente de radiación, la cual ayuda a que los electrolitos y los semiconductores; y con la ayuda de los electrodos, trasformen la energía luminosa en corriente eléctrica; con este proceso empieza la transferencia de energía por las propiedades electroquímicas de los compuestos usados. El proceso está basado en la fotosíntesis para ampliar el rango de longitud de onda empleado. La aplicación de los carotenoides en la biotecnología ambiental ha despertado interés en los

científicos del mundo; se están mejorando procesos para la fabricación de las celdas. Hoy en día, los materiales empleados son de fácil obtención y producción lo que reduce enormemente el costo de las DSSC. Mediante este tipo de celdas se aplica la biotecnología para emplear fuentes renovables y poder evitar el consumo de combustibles fósiles. Las ventajas de las celdas son que emplean materiales más económicos que el silicio y son fuentes renovables inagotables. Las desventajas que se han visto hasta el momento se enfocan en la inestabilidad de los carotenoides ya que se degradan fácilmente.

Palabras clave: biotecnología ambiental, carotenoides, celdas solares DSSC.

ABSTRACT

This paper is a bibliographic revision on “Carotenoids and their application in Environmental Biotechnology”. Environmental pollution is one of the current main problems in society. We need to find ways to move forward with new technologies and take advantage of our natural resources to avoid negative effects on the environment. Therefore, we describe how environmental biotechnology has introduced carotenoids as its main objective, creating different forms of renewable energy for electricity production, manufacturing photovoltaic cells with photosynthetic principles thus applying natural pigments.

The dye-sensitized solar cells, DSSC created by Michael Grätzel, were manufactured using titanium dioxide or zinc as semiconductors; two electrodes one simple and a counter electrode; an electrolyte and natural pigments. Extracts from flowers, fruits or roots were performed to obtain carotenoids. This extract is impregnated in the semiconductor substances for about 24 hours. The circuits are performed in series or parallel depending on the result you aim to obtain. A radiation source, which helps electrolytes and semiconductors, is used, and electrodes are used to help transform light energy into electricity; with this process the transfer of energy by electrochemical properties of the compounds used begins. The process is based on photosynthesis to extend the wavelength range employed. The application of carotenoids in environmental biotechnology has aroused interest in the scientific world; processes are being improved for cell manufacturing. The materials that are used nowadays are easy to obtain and

produce, which greatly reduces the cost of the DSSC. This type of cell allows us to apply biotechnology in order to use renewable sources thus avoiding the use of fossil fuel power. The advantage of the cells is that they use materials, which are less expensive than silicon and are inexhaustible renewable sources. The disadvantages encountered have to do with the instability of carotenoids since they degrade as easily.

Key words: carotenoids, dye-sensitized solar cells DSSC, environmental biotechnology

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el ser humano se ha visto obligado a buscar procesos y métodos limpios, centrándose en el cuidado ambiental a través de un uso más responsable de los recursos. Al mismo tiempo, a buscar una gestión energética sustentable, por medio de la cual se pueda evitar el uso indiscriminado de hidrocarburos que, además de no ser renovables, producen diversos tipos de contaminación ambiental que afectan a suelos, fuentes de agua y aire, deteriorando las funciones de vida de diversas especies y, naturalmente, al ser humano. Esta preocupación se ha desarrollado, al punto que, en varios países se ha creado una legislación encaminada hacia el cuidado ambiental, como es el caso de Ecuador en donde incluso a nivel constitucional se ha establecido una serie de parámetros que hoy por hoy constituyen los llamados “Derechos de la Naturaleza” (Constitución de la República, 2008).

En el siguiente documento se realiza una aproximación teórica hacia la comprensión de los carotenoides y las funciones que pueden cumplir; con el fin de aportar al avance de la biotecnología ambiental, para el desarrollo de dispositivos de generación fotovoltaica mediante pigmentos naturales.

El objetivo general del presente estudio es investigar sobre los carotenoides y su aplicación en la biotecnología ambiental a través de una investigación bibliográfica para la ampliación del conocimiento. Los objetivos específicos son:

- Explicar detalladamente las características de los carotenoides, como propiedades fisicoquímicas, clasificación y funciones.
- Indagar sobre biotecnología ambiental de manera general, determinando su desarrollo e importancia en el uso de energías renovables y la fabricación de celdas fotovoltaica.
- Analizar la aplicación de los carotenoides en la elaboración de celdas solares sensibilizadas con tintura.

La justificación de esta investigación radica en el impacto que busca tener, al agrupar una serie de conocimientos bibliográficos y documentales respecto al cuidado ambiental y la generación de energía limpia, mediante el uso de la biotecnología ambiental y la adquisición de materiales baratos y accesibles respecto a los que se usan en la actualidad, como es el caso de los carotenoides y la aplicación como pigmentos sensibilizadores en la creación de celdas que transforman la energía luminosa (energía renovable) en electricidad.

Se entiende que los carotenoides, nombre proviene de la zanahoria (*carrot*, en inglés), cuyos pigmentos fueron aislados en 1831 (García et al., 2004); al ser pigmentos fotosintéticos, tienen la facilidad de absorber la energía luminosa y convertirla en energía eléctrica. Estos compuestos son sustancias ampliamente distribuidas en la naturaleza, hasta el momento se han logrado caracterizar aproximadamente 700 tipos, las cuales pueden otorgar pigmentación a plantas, insectos y otros seres vivos. Esta pigmentación ofrecida por los carotenoides se

ubica en el rango de colores de amarillo a r En el transcurso de los años, se han identificado diversos usos y capacidades para estas sustancias basadas en carbono, hidrógeno y ocasionalmente oxígeno.

Los carotenoides presentan en su estructura un sistema de dobles enlaces conjugados. Estas características indican sus propiedades específicas de acuerdo a su estructura molecular. Dentro de este trabajo, se citan las funciones de los carotenoides como:

- a) Son provitamínicos, pues permiten que el organismo sintetice vitamina A. En este caso es importante recalcar que, el cuerpo humano no es capaz de producir vitaminas por lo que debe ingerirlas en proporciones adecuadas.
- b) Son antioxidantes, al eliminar e inhibir la actividad química causadas por los radicales libres y el oxígeno, causan degeneración por la edad, especialmente en la piel y los ojos.
- c) Son cromóforos, ya que absorben la radiación solar y proporcionar color a los organismos que los contienen.
- d) Son pigmentos fotosintéticos, pues actúan en procesos de fotosíntesis, absorbiendo la energía lumínica y transformándola en energía química o energía eléctrica dependiendo de la aplicación.

Este trabajo de investigación permite la fácil comprensión del uso de los carotenoides en la aplicación de la biotecnología ambiental para la elaboración de celdas solares sintetizadas con tintura.

1. LOS CAROTENOIDES

Los carotenoides son considerados lípidos insaponificables del grupo de los isoprenoides. Son tetraterpenos, formados por 8 unidades de isopreno, presentando en su estructura 40 o más átomos de carbono, con un sistema de dobles enlaces conjugados. Características que ayudan a los carotenoides a cumplir con sus funciones; antioxidantes, cromóforos, pigmentos fotosintéticos y provitamínicos. Se encuentran presentes en plantas, organismos fotosintéticos como algas, hongos y bacterias y en animales como los crustáceos (Teijón, 2001).

Se reconocen a los carotenoides como pigmentos naturales ampliamente distribuidos entre los seres vivos. Al acumularse dan color en muchos órganos vegetales como frutas, raíces, flores, además de encontrarse también en organismos tan variados como invertebrados, peces, pájaros e incluso las algas, bacterias, hongos y levaduras. En las plantas, los carotenoides son sintetizados y almacenados en los plastidios y resultan fundamentales en el desarrollo vegetal, donde realizan funciones esenciales como precursores de hormonas básicas o contribuyendo a la adaptación ambiental en el proceso de la fotosíntesis disipando el exceso de energía lumínica (Britton et al., 2004).

Los carotenoides son considerados lípidos insolubles, su estructura pertenece a un tetraterpeno, los cuales tienen 40 carbonos, son simétricos y lineales. Los carotenoides están formados por ocho unidades de isopreno, el cual consta de 5

átomos de carbono. Su estructura puede ser lineal o cíclica en uno o en los dos extremos. Pueden sufrir reacciones químicas como: cambios de isomería, saltos de los dobles enlaces, hidrogenación, deshidrogenación, se pueden eliminar radicales o reaccionar con otros, pueden reaccionar con grupos funcionales oxigenados y de esta manera producir más de 700 estructuras diferentes con características diferentes (Teijón, 2001).

Los carotenoides hidrocarbonados (es decir, los carotenoides compuestos solamente por carbono e hidrogeno) son llamados colectivamente carotenos y ejemplos de estos son: el licopeno, el β -caroteno y el α -caroteno. Los que contienen oxígeno se denominan xantofilas donde se encuentran la astaxantina, la violaxantina y la β -criptoxantina (Rodríguez, 1999).

1.1. LÍPIDOS

Los lípidos son considerados biomoléculas presentes en las células, de alto peso molecular, debido a la cantidad de carbonos que poseen (Voet, 2009).

Las funciones de los lípidos son:

- Estructural: Forman parte de la estructura de las membranas biológicas.

- Energética: Estos tienen un alto poder energético que puede acumularse en forma de glucógeno.
- Reserva: Debido a sus cadenas hidrocarbonadas son considerados depósitos de energía a largo plazo.
- Reguladora: Intervienen en procesos fisiológicos, como en los de las hormonas esteroideas, prostaglandinas y vitaminas (Teijón, 2001).

Para este trabajo investigativo se clasifican a los lípidos en función de su estructura química en saponificables e insaponificables (Astiasarán et al., 2003).

1.1.1. LÍPIDOS SAPONIFICABLES

Los lípidos son clasificados como saponificables, ya que en su estructura poseen ácidos grasos, que mediante un proceso de hidrólisis con hidróxido de potasio o hidróxido de sodio, pueden formar jabones (Feduchi et al., 2011).

- Ácidos Grasos

Los ácidos grasos presentes en los lípidos, son compuestos orgánicos que pueden clasificarse en ácidos grasos saturados y ácidos grasos insaturados (Astiasarán et al., 2003).

Los ácidos grasos saturados son ácidos orgánicos monocarboxilados con cadenas alifáticas lineales de hasta treinta y seis carbonos. Los ácidos grasos insaturados son ácidos orgánicos que tienen dobles enlaces en su estructura (McGilvery, 1997).

Los ácidos grasos saturados presentes en los lípidos son lo que poseen una estructura no ramificada, esto quiere decir que tienen una estructura lineal. En los alimentos, los ácidos grasos ramificados no se encuentran con frecuencia, se encuentran ácidos grasos que poseen un número par de carbonos, los de número impar de carbonos solo existen en trazas. Los ácidos grasos que se encuentran como componentes de los triglicéridos son los que tienen un número de carbonos menor a 14, esto implica que su peso molecular sea bajo. Se puede mencionar como un ejemplo, la leche de coco en donde se encuentra este tipo de ácido graso. Los ácidos grasos que poseen un alto peso molecular, tienen en su estructura más de 18 carbonos, se encuentran en las leguminosas. De la misma forma, los ácidos grasos insaturados presentes en los alimentos se caracterizan por tener enlaces dobles en la cadena, grupos alilos conectados al grupo acilo y en posición *cis*. Como ejemplo, se puede citar al ácido araquidónico (C_{20}), el cual se encuentra en la carne, el hígado y los lípidos en los huevos de gallina (Soriano, 2006).

- **Propiedades de los Ácidos Grasos**

Los ácidos grasos tienen una cadena de carbonos, la cual le da una característica de insoluble en agua. Esta cadena es apolar lo que le confiere esta característica con el agua. Por esto son solubles en compuestos orgánicos como el cloroformo. Dependiendo de su número de carbonos, los ácidos saturados empiezan siendo sólidos blandos. Un ejemplo de ácido graso saturado es la mantequilla. Los ácidos grasos saturados tienen puntos de fusión alto y son estables gracias a que pueden formar cadenas lineales.

Por otro lado, los ácidos grasos insaturados tienen dobles enlaces en su cadena, esto ayuda a que sean menos estables por los giros que se pueden dar por los enlaces dobles, esta propiedad hace que los ácidos grasos insaturados, tengan puntos de fusión más bajos, por dicha razón, son compuestos con un estado físico de líquido viscoso. Un ejemplo de ácido graso insaturado es el ácido oleico (Feduchi et al., 2011).

a) CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS SAPONIFICABLES

Los lípidos saponificables se clasifican en simples y complejos.

Lípidos Simples

Los lípidos simples están clasificados en:

Acilglicéridos: Son denominados como ésteres de los ácidos grasos. En sus estructuras poseen un ácido graso unidos a una molécula de glicerol como grupo terminal. En este grupo se encuentran los triglicéridos, cuya estructura presenta tres cadenas hidrocarbonadas y una molécula de glicerol. Los triglicéridos pueden ser aceites y grasas, recibiendo estos nombres debido a su estado físico; líquidos y sólidos respectivamente (Oñate, 2008).

Ceras: Son ésteres sólidos de ácidos grasos de cadena larga con alcoholes de cadena larga o con esteroides. Tienen estado físico sólido y se encuentran en animales (piel, pelo y plumas), en plantas (hojas y frutas) y en el exoesqueleto de insectos (Teijón, 2001).

Lípidos complejos

Los lípidos complejos se clasifican en:

Fosfoglicéridos: estos compuestos también son conocidos como fosfolípidos. Son ésteres formados por ácidos grasos, glicerina, ácido fosfórico y un alcohol. Los más conocidos son las lecitinas y las cefalinas (Jaramillo, 2004).

Esfingolípidos: son compuestos que están presentes en la membrana celular. Están compuestos por un aminoalcohol (esfingosina) y por ácidos grasos de cadena larga. Las ceramidas pertenecen a este grupo y se caracterizan por su enlace amino a la molécula antes mencionada. Ésta se encuentra presente en tejidos vegetales y animales (Cuamatzi y Melo, 2006).

Lipoproteínas: están formadas por triglicéridos y ésteres de colesterol. Su función es transportar lípidos por la sangre y son característicos dependiendo de la proteína (Williams, 2002).

1.1.2. LÍPIDOS INSAPONIFICABLES

Los lípidos insaponificables son compuestos orgánicos que no son solubles en agua, pero si pueden disolverse en compuestos orgánicos; los cuales, basándose en sus propiedades estructurales no contienen ácidos grasos de cadena larga (Garrido y Teijón, 2006).

Los lípidos insaponificables no son ésteres, por lo cual, no pueden formar jabones, quiere decir, que no son saponificables, como su nombre lo indica (Jaramillo, 2004).

a) CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS INSAPONIFICABLES

Los lípidos insaponificables se clasifican en: (Magro y Rodríguez, 2008)

- Derivados del Isopreno
- Derivados del Esterano
- Eicosanoides

Derivados del isopreno

El isopreno es un compuesto orgánico formado por cinco carbonos. Su estado físico es líquido incoloro y su punto de ebullición es 34,07 °C, característica que determina que sea volátil. La fórmula del isopreno es C_5H_8 , como se muestra en la Figura 1.

Su nombre sistemático es 2-metil-1,3- butadieno, quiere decir que, es un alqueno que presenta dos enlaces dobles en su estructura y un radical metil. El isopreno es una molécula, considerada como hidrocarburo que puede formar polímeros, conocidos como terpenos o isoprenoides (Macy, 2005).

El isopreno tiene una importancia biológica ya pueden formar lípidos isoprenoides, que se caracterizan por no tener en su estructura ácidos grasos. El isopreno es producido de manera natural en animales y plantas, como en ciertos alimentos (UIB, 2007). Como se citó anteriormente, el isopreno es la base estructural de los terpenos de los cuales se hablará a continuación:

Terpenos

Los terpenos son moléculas cíclicas o lineales formadas por uniones de isoprenos. Por esta razón, los terpenos, son considerados lípidos derivados del isopreno. La palabra terpeno viene de la palabra griega "*terpentin*", se encuentran como aceites esenciales, los cuales producen en de las plantas su olor característico. Cuando la fórmula estructural de dichos compuestos es considerada un hidrocarburo, reciben el mismo nombre, *terpenos*. Si en su fórmula estructural poseen oxígeno son llamados terpenoides, estos pueden ser cetonas, aldehídos y alcoholes. (Battaner, 2012)

Clasificación de los terpenos

Los terpenos se pueden clasificar dependiendo de la cantidad de unidades de isopreno que tengan en su estructura (Yúfera, 2007):

a) Hemiterpenos

Los hemiterpenos son terpenos que poseen solo 5 carbonos, esta formación es considerada como el mismo isopreno. Los hemiterpenos se encuentran en tejidos fotosintéticamente activos. (Parellada, 2015)

Los hemiterpenos que presentan oxígeno en su estructura se llaman hemiterpenoides; como ejemplos se pueden citar: isopreno, alcohol dimetilalílico, isopentenol, alcohol isoamílico y el prenol cuya fórmula estructural se muestra en la Figura 2.

b) Monoterpenos

Los monoterpenos son productos que se encuentran en las plantas, pero también son producidos por animales. Los monoterpenos son moléculas formadas por dos unidades de isopreno. Su fórmula química es $C_{10}H_{16}$. Al igual que los hemiterpenoides, si en su estructura presentan oxígeno, se llaman

monoterpenoides. Los monoterpenos son los constituyentes de los aceites esenciales. Ejemplos de monoterpenos: mentol, timol e iridoides (Ayala, 2003). Otro ejemplo de monoterpenoide es el Geraniol, el prefijo *geranil* se refiere a la molécula contiene dos unidades de isopreno, como se muestra en la Figura 3.

c) Sesquiterpenos

Los sesquiterpenos, son terpenos que en su estructura presentan tres unidades de isopreno, dando así una fórmula estructural de $C_{15}H_{24}$. Las lactonas sesquiterpénicas como: matricida, ácido absícico, hormonas juveniles, sirenina, y el farnesol que además es un alcohol sesquiterpénico, se pueden citar como ejemplos de los sesquiterpenos (Marcano, 2002). El prefijo farnesil corresponde a tres unidades de isopreno, como se muestra en la Figura 4. Los sesquiterpenos son empleados en medicina. Se encuentran en aceites esenciales y son los responsables de olores y sabores de especias.

d) Diterpenos

Los diterpenos son terpenos que presentan una fórmula molecular de $C_{20}H_{32}$, la cual indica que tiene cuatro unidades de isopreno. Estos compuestos se encuentran como base de compuestos biológicos como el retinol y retinal. Ejemplos de los diterpenos son: constituyentes de las resinas como el ácido

abiótico, fitol, vitamina A, crocetina, cembreno y taxadieno. Los diterpenos se derivan de los tetraterpenos (Baratto, 2007).

e) Sesterpenos

Los sesterpenos son terpenos constituyentes de los extractos de lípidos insaponificables. Su fórmula molecular es: $C_{25}H_{40}$ la cual nos indica que posee cinco unidades de isopreno. En hongos se han descubierto la presencia de estos compuestos y se los llama ofibolinas (Marcano, 2002).

f) Triterpenos

Los triterpenos son compuestos que poseen en su estructura seis unidades de isopreno. La fórmula molecular de estos compuestos es: $C_{30}H_{48}$. Los triterpenos pueden ser: escualeno, esteroides y triterpenos pentacíclicos. El escualeno es un terpeno lineal que se encuentra en el hígado de tiburón. Además forma el lanosterol, cuya función es ser precursor estructural de los esteroides. Hay muy poca diferencia entre un triterpeno y los esteroides, es por esto que son considerados dentro del mismo grupo (Ocampo, 2008).

g) Tetraterpenos

Los tetraterpenos tienen ocho unidades de isopreno y su fórmula molecular es: $C_{40}H_{56}$. En los tetraterpenos se encuentran los compuestos químicos de interés para este trabajo monográfico, los carotenoides.

Los carotenoides son grupos de compuestos que tienen en su estructura ocho cadenas de isopreno; esto quiere decir que, son tetraterpenos. Se encuentran en la naturaleza en plantas y animales. Hasta el momento se conocen aproximadamente 750 carotenoides en la naturaleza. Los carotenoides son lípidos insolubles, que no pueden solubilizarse en agua, pero sí en compuestos orgánicos como alcoholes, y cetonas. Mediante su hidrólisis no producen ácidos grasos. Los carotenoides fueron extraídos por primera vez de las zanahorias por el científico Wackenroder en 1830 (Cuevas, 2008).

h) Politerpenos

Son hidrocarburos politerpénicos, conocidos también como poliprenos. Estos compuestos son también derivados del isopreno, Un ejemplo de los politerpenos es el caucho. El caucho cuando precipita es blando, elástico y pegajoso. Este material tiene una estructura de isomería geométrica *cis* (Cristol y Smith, 2000).

Derivados del Esterano

El Esterano es un hidrocarburo poliacíclico, llamado ciclopentanoperhidrofenantreno. Es considerado como una molécula de fenantreno unido a un ciclopentano, como indica la Figura 5. El esterano o gonano tiene en su fórmula estructural diecisiete carbonos. Los derivados del esterano son compuestos conocidos como esteroides (Oñate, 2008).

a) Esteroides

Los esteroides son compuestos orgánicos derivados del esterano de mucha importancia biológica debido a sus actividades fisiológicas y sus aplicaciones farmacológicas, presentes en animales y vegetales (Oxford University, 2003).

b) Esteroles

Los esteroles son derivados isoprenoides cíclicos formados por 17 carbonos. Y su estructura básica es el esterano. Los esteroles son esteroides de grupos de alcoholes con cadena de esteroides de ocho a diez átomos. Son compuestos que se encuentran en animales y vegetales, son constituyentes de la membrana celular. Los esteroles más conocidos son el colesterol y el lanosterol (Teijón, 2001).

El esteroI más importante es el colesterol. Este compuesto está presente en las membranas animales, mas no en las vegetales. El colesterol ayuda a la biosíntesis de compuestos importantes, como lo son los esteroides (Cisternas, 2008).

c) Ácidos biliares

Los ácidos biliares son compuestos que se encuentran en la bilis y son considerados emulsionantes ya que tienen propiedades tensoactivas, lo que ayuda a que las grasas en el intestino sean hidrolizadas. Estos compuestos se forman debido a al proceso de oxidación del colesterol (Yúfera, 2007).

d) Hormonas esteroides

Las hormonas esteroides son compuestos que derivan del colesterol. Son producidas por glándulas, como los ovarios; son de mucha importancia para los animales por sus procesos biológicos (Wilmore, 2007).

e) Eicosanoides

Los eicosanoides son compuestos que se derivan del ácido araquidónico. Son compuestos sintetizados por las mismas células. Los eicosanoides son reguladores de procesos biológicos (Jiménez, 2007).

1.2. PROPIEDADES DE LOS CAROTENOIDES

Las propiedades de los compuestos orgánicos, dependen básicamente de la estructura de sus moléculas. Los carotenoides tienen ocho unidades de isopreno, por lo que posee un esqueleto de cuarenta átomos de carbono. Estas moléculas pueden ser de cadena abierta o cerrada, pueden ser cíclicos o acíclicos. Los carotenoides poseen un sistema de enlaces conjugados, se ha identificado que el color que dan los carotenoides depende del número de dobles enlaces conjugados presentes en las moléculas. El betacaroteno, por ejemplo, posee once enlaces conjugados y el licopeno tiene dos enlaces dobles conjugados más que el betacaroteno y por esta razón su color es más intenso. En cambio el fitoflueno es incoloro ya que solo tienen dos enlaces dobles conjugados (Mínguez, 1996).

Entonces, los dobles enlaces conjugados de los carotenoides son su principal propiedad, ya que debido a su estructura pueden absorber la luz a cierta longitud de onda y dar diversos colores en los animales y plantas. Por otro lado, los dobles enlaces son los que dan una reactividad característica para que puedan, los

carotenoides, reaccionar con los radicales libres, por esta razón, son responsables de la transferencia de energía en procesos como la fotosíntesis en las plantas. Son capaces de formar complejos pigmento-proteína que facilita la transferencia de energía en estos procesos (Meléndez *et al.*, 2007).

Gracias a los dobles enlaces conjugados, los carotenoides presentan isomería geométrica. En la naturaleza existen isómeros geométricos *cis* y *trans*. Los últimos son más estables y por esto se encuentran en mayor proporción en la naturaleza. A su vez, también pueden formar isómeros ópticos, ya que en su estructura presentan centros quirales (Toledo *et al.*, 2004).

Los carotenoides son lípidos insaturados, por esta razón son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos como: el hexano, acetona, éter de petróleo, etc.; por ejemplo las xantofilas son solubles en metanol y etanol. Los carotenoides son estables al calor. Por ejemplo las zanahorias al ser cocinadas no pierden su color. Sin embargo, el calor puede producir cambios de isomería y pueden presentar propiedades nutricionales diferentes (Mínguez, 1996). Los puntos de fusión de los carotenoides son elevados, están en el rango de 130 a 220 °C (Meléndez *et al.*, 2007).

El carácter hidrofóbico de los carotenoides, está implicado en la formación de cristales, muchos de estos compuestos se encuentran en forma cristalina en los cromoplastos. Se encuentran entre los cloroplastos en las hojas, y cromoplastos

en los frutos y raíces. Están en las plantas o los animales en forma semicristalina, unidos a la membrana de los cromoplastos. Por ejemplo el licopeno en los cromoplastos del tomate, produce su color rojo característico. Existe en proporción 1 a 5 en la naturaleza, quiere decir que, por cada molécula de carotenoides hay cinco moléculas de clorofila (Sapiña, 2009).

Frente a condiciones extremas como un pH muy ácido o muy básico, la molécula cambia su configuración de *trans* a *cis*, variando así, sus propiedades nutricionales y características específicas (Ramírez, 2009).

A continuación se enlistan las propiedades de los carotenoides:

- Son capaces de capturar el oxígeno singlete.
- Pueden absorber la luz, los rayos UVA del sol.
- Tienen isómeros geométricos y ópticos
- Reacciones con los radicales libres y pueden desecharlos.
- Son lípidos insolubles en agua y solubles en sustancias hidrofóbicas.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS CAROTENOIDES

Los carotenoides se pueden clasificar dependiendo si en su estructura poseen o no oxígeno. Se debe tomar en cuenta que la unión de ocho unidades de

isopreno, logra que cada una de estas se convierta en el centro de la molécula, pueden tener grupos metilos como radicales y también grupos funcionales oxigenados como: hidroxilo, metoxilo, carboxilo o carbonilo (Mínguez, 1996).

Si los carotenoides no tienen oxígeno se llaman Carotenos, están formados por átomos de carbono e hidrógeno, son considerados hidrocarburos. Por otro lado, si los carotenoides poseen en su estructura oxígeno son llamados Xantofilas; las xantofilas pueden tener cualquier función oxigenada (Lock, 1997).

Estos compuestos se detallan a continuación:

1.3.1. CAROTENOS

Los carotenos son pigmentos naturales de color amarillo, anaranjado y rojo. Poseen cuarenta carbonos en su cadena, ya que tienen 8 unidades de isopreno. El caroteno más común en la naturaleza es el beta-caroteno, constituye entre el 25-30% del contenido total de carotenoides que se puedan encontrar en las plantas. Fue descubierto por Paul Karrer en 1930. Los carotenos dan color a las flores, frutos y raíces como la zanahoria. Estos compuestos pueden absorber la energía luminosa a longitudes de onda diferentes de la clorofila; de esta forma intervenir en el proceso de fotosíntesis. Los carotenos son precursores de la vitamina A (Velasco, 1999).

Entre los carotenos más importantes se pueden encontrar:

a) Betacarotenos

Los betacarotenos son pigmentos de color amarillo y naranja. Estos compuestos son precursores de la vitamina A. Los betacarotenos se encuentran en frutas, vegetales y granos. Está presente de forma abundante y característica en la zanahoria (Walji, 1997). El betacaroteno es una molécula que está compuesta por 40 átomos de carbono, dobles enlaces conjugados y grupos metilo como radicales., como se muestra en la Figura 6.

b) Alfacarotenos

Los alfacarotenos tienen la misma fórmula molecular que el betacaroteno, sin embargo difiere entre los dobles enlaces conjugados, como se muestra en la Figura 6. Son antioxidantes que están presentes en frutas y vegetales como el betacaroteno, pero no es tan abundante como el antes mencionado.

c) Licopeno

El licopeno es un hidrocarburo alifático, categorizado como carotenoides. Este compuesto es liposoluble y es característico por dar el color rojo a los alimentos en los que está presente, por ejemplo: tomate y sandía. El licopeno, como el

betacaroteno y el alfacaroteno, también está compuesto por 40 carbonos y 13 enlaces dobles, los cuales 11 son dobles enlaces conjugados (Castro, 2003). Sin embargo su fórmula estructural es diferente como se muestra en la Figura 7.

d) Fitoeno y fitoflueno

El fitoeno y el fitoflueno son tipos de carotenoides que se encuentran en frutas y verduras. Son compuestos de cuarenta carbonos que están presente en la biosíntesis de los carotenoides. Posee tres enlaces dobles conjugados en su estructura, representados en la Figura 8.

1.3.2. APOCAROTENOIDES

Los apocarotenoides son compuestos orgánicos considerados carotenoides, sin embargo cuentan con un número de carbonos diferente a los cuarenta átomos de carbono debidos a la unión de ocho unidades de isopreno. Entre estos compuestos se encuentran: la bixina, que está presente en el achiote; la crocetina, presente en el azafrán; y el apocarotenal, compuesto que se encuentra presente en el níspero y alimentos cítricos (Meléndez *et al.*,2007). En la Figura 9 se muestran las fórmulas estructurales del beta-apo-8'-carotenal y la crocetina.

1.3.3. XANTÓFILAS

Las xantófilas son carotenoides que presentan oxígeno en su estructura. Estos carotenoides presentan una coloración amarilla y parda de las hojas secas. La luteína es la xantófila más abundante en la naturaleza, se encuentra entre el 40-50%; sin embargo está en menor proporción que el beta- caroteno. Las xantófilas se encuentran presentes en plantas y compuestos pigmentados que también intervienen en la fotosíntesis (Kinwoo-media, 2010). Entre las xantófilas más conocidas se encuentran:

a) Luteína

La luteína es un compuesto orgánico antioxidante que pertenece al grupo de las xantófilas ya que tiene dos grupos hidroxilo en su estructura, como se muestra en la Figura 10. Es un derivado del alfa caroteno. Se encuentra en algas, bacterias fotosintéticas y en la yema de huevo. (Franco, 2011)

b) Zeaxantina

La Zeaxantina es un pigmento liposoluble de color amarillo. Este compuesto pertenece al grupo de las xantófilas. Está presente en las algas, bacterias y en la yema de huevo. Es está un mayor cantidad y es característico del maíz (González, 2010). En la Figura 11 se muestra su estructura.

c) Capsantina

La capsantina es un carotenoide presente en un 60% en los pimientos rojos. Es un pigmento de color rosado (Botanical-online, 1999).

d) Criptoxantina

La criptoxantina está presente en pétalos de flores al igual que en la cáscara de naranja. Es un compuesto parecido a los carotenos. En cuanto a su estructura, tiene un grupo hidroxilo en la molécula de betacaroteno. Al presentar átomos de oxígeno es considerado una xantófila y no un caroteno, como se indica en la Figura 12 (Campodocs, 2014).

e) Astaxantina

Este tipo de carotenoides, pertenece al grupo de las xantófilas. Su estructura se indica en la Figura 13. Es un antioxidante que se encuentra en animales como el salmón, la trucha y el flamenco; este pigmento produce el color rojizo en los mismos (González, 2010).

1.4. FUNCIONES DE LOS CAROTENOIDES

Los carotenoides son compuestos importantes tanto para plantas y animales. Sus funciones características son actuar como provitamínicos (se pueden convertir en vitamina A), antioxidantes (pueden eliminar los radicales libres) y cromóforos (pueden dar color a plantas y animales). Estas funciones serán detalladas a continuación:

1.4.1. PROVITAMÍNICOS

Los carotenoides son capaces de metabolizar en los organismos la vitamina A. La principal fuente de vitamina A son los carotenos alfa y beta. El grupo de las xantófilas tiene una función importante ya que actúa como protección de la vitamina A, la vitamina E y otros compuestos de estructuras parecidas en los procesos de oxidación que ocurren en los organismos (Cuadrado, 2004).

Los carotenoides no son capaces de ser producidos por el cuerpo humano, por esta razón, se los debe ingerir mediante una dieta apropiada, puede convertirse en vitamina A en el organismo. Recientes estudios han indicado que no solo con la dieta se puede ingerir los carotenoides necesario, sino también con suplementos multivitamínicos de los mismos (Nutrivea, 2003).

Aproximadamente unos 50 a 60 carotenoides se caracterizan por ser provitamínicos, los más conocidos son el alfa caroteno, beta caroteno, gama caroteno y xantófilas como la criptoxantina (Meléndez *et al.*, 2004). Esta característica específica se refiere a como los carotenoides pueden convertirse en retinol (Granado y Omedilla, 2001).

El cuerpo humano no puede producir la vitamina A, por esta razón los carotenoides deben ser ingeridos en la dieta diaria, aparte de que los carotenoides previenen la ceguera, también se ha probado su efecto en la disminución del riesgo de adquirir una enfermedad crónica. Se recomienda el consumo de frutas y verduras que posean carotenoides (FoodnewsLatan, 2014).

La vitamina A ayuda al organismo con la visión nocturna, para mantener una piel sana, al igual que los tejidos superficiales, esto se debe a la formación de retinol, cuyos precursores son los carotenoides. Los carotenoides son pigmentos que tienen isomería *cis* y *trans*, se ha investigado que los carotenoides con isomería *cis* presentan una menor producción de vitamina A (Meléndez *et al.*, 2004).

1.4.2. ANTIOXIDANTES

Los carotenoides actúan como antioxidantes, protegiendo a las células en los procesos de oxidación. Esto ayuda a los organismos a mejorar su sistema inmunológico, reduciendo el riesgo a enfermedades. Gracias a esta función los

carotenoides han sido caracterizados como sustancias anticancerígenas e inmunoactivadoras. La actividad antioxidante de los carotenoides logra que se puedan eliminar los radicales libres del organismo, contrarrestando de esta manera los procesos de envejecimiento (Mínguez, 1996).

Otra de las características de la función antioxidante de los carotenoides es la de protección a las plantas del sol y los daños que este pudiera causar debido a los radicales libres que produce. Las plantas sufrirán quemaduras si estos compuestos no las protegieran de los rayos del sol. Al igual que en las plantas, los carotenoides nos ayudan como protección de los rayos UVA, (los rayos UVA son perjudiciales para la salud ya que son formadores de radicales libres), especialmente en la piel y los ojos. En cuanto, a los beneficios para la piel; los carotenoides son protectores de la misma, evitando así enfermedades como el cáncer de piel. Ciertos estudios aseguran que las personas que han consumido alimentos ricos en carotenoides, presentan un menor riesgo de cáncer. Los carotenoides presentes en los ojos, como la luteína y la zeaxantina, son considerados los agentes responsables de prevenir las cataratas y/o la degradación macular de la retina. Varios estudios han comprobado que estas sustancias reducen el riesgo de una degeneración macular, ceguera causada por la edad. El color amarillo dentro de la retina es causado gracias a la presencia de estos dos carotenoides. Estudios también han comprobado que los carotenoides ayudan a la desintegración de radicales libres producidos por la exposición a contaminantes, ya sean atmosféricos o introducidos al organismo, como es el caso del consumo de tabaco. Por otro lado, los carotenoides ayudan a disminuir la producción de grasas negativas y colesterol debido a su acción antioxidante, por

ejemplo, el betacaroteno intervienen en la oxidación de las grasas, las cuales forman el colesterol malo y se queda atrapado en las células; el betacaroteno entonces previene enfermedades cardiovasculares al inhibir la oxidación de las grasas. Por otro lado, El licopeno, por su actividad antioxidante, previene enfermedades cardiovasculares, ya que es capaz de reducir las modificaciones oxidativas del colesterol (LDL). (Causse, 2000).

El betacaroteno funciona como antioxidante, ya que es capaz de suprimir el radical libre, llamado oxígeno singlete. Con esta característica, el betacaroteno aumenta la capacidad pulmonar, logrando así que la cantidad de oxígeno que inspiramos sea mayor, y nuestro cuerpo se mantenga oxigenado (Brown y Challem, 2007).

Se puede decir, entonces que los beneficios de los carotenoides al realizarse una ingesta apropiada son: (Pérez, 2008)

- Disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares.
- Ayuda a la prevención de ciertos tipos de cáncer.
- Incrementa el sistema inmunológico.
- Protegen los tejidos y células, de reacciones fotoquímicas.
- Disminuye la degeneración macular.

1.4.3. CROMÓFOROS

Los carotenoides son considerados cromóforos. Un cromóforo se refiere a la: “denominación común de los agrupamientos químicos funcionales, insaturados, que colorean una sustancia orgánica, y en particular, de los que poseen absorción respecto al ultravioleta.” (Gallegos y Sanz, 2001). Quiere decir, entonces, que actúan como pigmentos naturales en plantas y animales.

Los pigmentos naturales ayudan a la perpetuación de la especie, debido a que ciertos animales son atraídos a flores y frutos, asegurando la reproducción en las plantas. Los carotenoides son sustancias cromóforas ya que en su estructura presentan dobles enlaces conjugados en su cadena polienoica. Esta característica en su estructura logra que estos compuestos sean capaces de absorber la luz visible y proyecten el color de cada uno de los compuestos, dando así variedad de pigmentos naturales. La característica espectroscópica de los pigmentos va a depender del número de enlaces conjugados presentes en la estructura de cada uno de ellos. Los carotenoides, al ser capaces de absorber la luz, se ven envueltos en el proceso de la fotosíntesis realizado por las plantas. Estos compuestos absorben la luz en diferentes longitudes de onda de la clorofila. Estas sustancias actúan como fotoprotectoras ya que inhiben la propagación de moléculas que pueden reaccionar con el oxígeno y de radicales libres, causando así una protección para las células (Mínguez, 1996).

El sistema de doble enlaces conjugados en los carotenoides es el responsable para que en las plantas o animales se den los colores característicos. El pigmento debe tener al menos siete dobles enlaces conjugados para que presente coloración, caso contrario el pigmento sería incoloro, como el fitoeno que se citó anteriormente (Toledo *et al.*, 2004).

Un cromóforo absorbe la luz en la región visible, debido a que ocurre una oscilación de los electrones en la cadena insaturada. Los electrones de la molécula están en estado energético basal y pasan a un estado energético excitado. Los electrones entonces pasan de un estado de menor energía a uno de mayor energía. El salto energético va de π enlazantes a orbitales π^* antienlazantes. Los carotenoides tienen la capacidad de asociarse con proteínas, gracias a esto los carotenoides se estabilizan, dando espectros en el azul, verde y púrpura. Por ejemplo, la crustacianina da un pico en 632 nm dando una coloración azulada. Los carotenoides absorben la luz en la región visible en longitudes de onda diferentes a las de la clorofila. Es aquí en donde se realiza la transferencia de energía (Carranco, 2011).

El betacaroteno tiene dos picos en su espectro de absorción entre los 400 nm y 500 nm, estos picos corresponden al azul y al verde, esto quiere decir que el color característico que muestra es anaranjado ya que el rojo y el amarillo son reflejados (Evens, 2008).

La luteína y la zeaxantina, sus estereoisómeros, son consideradas xantófilas que actúan como filtros protectores de la luz, absorbiendo en el espectro azul (Carranco, 2011).

1.4.4. PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS

Los carotenoides son pigmentos fotosintéticos, que gracias a sus sistemas de dobles enlaces conjugados, son capaces de recolectar la luz, absorber la luz visible en diferentes longitudes de onda (dando colores característicos) y también actúan como sustancias fotoprotectoras, inhibiendo las reacciones con radicales libres, y sustancias que se oxidan fácilmente (Mínguez, 1996).

La clorofila pertenece también a este grupo de pigmentos fotosintéticos; adicionalmente, los carotenoides son considerados pigmentos accesorios y ayudan a ampliar el espectro de absorción, sirviéndoles de esta manera como fotoprotectores en caso de que existiera luz excesiva.

Los carotenoides son importantes ya que evitan posibles daños en las estructuras, al recibir energía lumínica en exceso. Estos compuestos tienen la capacidad de disipar en forma de calor la energía lumínica, que la clorofila u otros pigmentos no pueden asimilar. En el proceso de la fotosíntesis, los carotenoides son considerados pigmentos accesorios, sin embargo se ha estudiado que también ayudan en la eliminación de sustancias que pueden reaccionar con el

oxígeno, es por esto que son considerados antioxidantes. En el proceso de la fotosíntesis el oxígeno reacciona con la clorofila en nivel energético excitado y esto produce un singlete de oxígeno que puede reaccionar con las moléculas de clorofila, oxidando a las hojas. Si la energía lumínica sobrepasa el nivel aceptado, el oxígeno presente se vuelve tóxico para la planta, los carotenoides son los encargados de disipar esta energía, eliminando el radical peróxido y las clorofilas excitadas en forma de calor al sistema (Manrique, 2003).

En los organismos que realizan fotosíntesis, existen proteínas y pigmentos sensibilizadores que se encuentran en las membranas de las células que se encargan de la fotosíntesis. Por ejemplo en las algas el aparato fotosintético se encuentra en organelos llamados cloroplastos. La energía luminosa se transforma en energía lumínica, gracias a uniones pigmento-proteína, estas reacciones ocurren en el llamado centro de reacción fotoquímica. Las moléculas restantes son conocidas como colectores o moléculas antena (captan la energía de los fotones). Los complejos formados son capaces de realizar una transferencia de electrones. En los centros de reacción fotoquímica, los fotones excitan a los electrones, en este proceso pasan a un nivel de mayor energía realizando una transferencia de electrones. Si el centro de reacción pierde un electrón se oxida, y le deja en capacidad de aceptar electrones de otras moléculas. Las moléculas que reciben los electrones se reducen (Markell y Namuth, 2003).

Esta es la función que se tomará en cuenta, para este trabajo monográfico, la capacidad de los carotenoides de absorber la luz en diferentes longitudes de onda y su actuación como pigmentos fotosintéticos.

1.5. FUENTES IMPORTANTES DE CAROTENOIDES

Las fuentes más significativas de los carotenoides son las plantas, donde a menudo los colores brillantes de los carotenoides son cubiertos por los pigmentos verdes de la clorofila (es decir, en los vegetales verdes y hojas). Los carotenoides son también responsables de los colores de algunas aves (flamencos y canarios), ciertos insectos y animales marinos (camarones, langosta y salmón). Los animales son incapaces de biosintetizar carotenoides pero muchos son capaces de metabolizarlos y modificarlos estructuralmente cuando los ingieren (Lock, 1997).

Existe una variedad de estimulantes que inducen carotenogénesis en diferentes microorganismos. Estos estimulantes afectan la biosíntesis de enzimas con distintos grados de intensidad y magnitud. Se detallan a continuación los factores estimulantes: (Álvarez *et al.*, 2009).

- Luz: La producción y la acumulación de carotenoides, se ve positivamente afectada por la irradiación de luz blanca en las algas, hongos, bacterias y levaduras. Así, el efecto de la luz en el crecimiento del microorganismo desempeña un papel importante en el establecimiento del auténtico papel de la iluminación de luz blanca como un estimulante en la producción de carotenoides.

- Temperatura: Trae consigo cambios en las diferentes rutas biosintéticas, incluyendo la biosíntesis de carotenoides. Un incremento en las temperaturas de crecimiento produce cambios en las características de las células, dando lugar a cambios en la eficiencia la absorción de nutrientes asociada a una variación en el tamaño celular y los niveles de pigmento. La temperatura es un control en la concentración de las enzimas involucradas en la producción de carotenoides y los cambios en la concentración de la enzima en última instancia, controla los niveles de carotenoides en los microorganismos.
- Iones metálicos y sales: están implicados en todos los aspectos de la vida microbiana. Los cationes tales como potasio y magnesio son especies intracelulares a granel, mientras que el sodio, el calcio, el zinc y un número de otros elementos de transición son iones metálicos esenciales. Las funciones biológicas de estos cationes en los microorganismos son difíciles de explorar, en parte debido a que interactúan débilmente como acarreadores de iones. Se puede suponer que la respuesta positiva de los iones metálicos y las sales es debida a un efecto estimulante de los cationes en las enzimas de síntesis de carotenoides, o para la generación de radicales de oxígeno activo en el caldo de cultivo.
- Intermediarios de ácido tricarboxílico: son importante en las reacciones metabólicas en condiciones aeróbicas, formando un esqueleto de carbono para la biosíntesis de carotenoides y lípidos en microbios.

La fotofísica de los carotenoides ha atraído mucho la atención en la última década, debido a las funciones cruciales de captación de luz y fotoprotección de los carotenoides en diversos sistemas biológicos (Jofra y Puig, 2007).

2. LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

2.1. LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

La biotecnología es un campo de la tecnología que estudia y aprovecha a los seres vivos y sus mecanismos e interacciones biológicas. Esta ciencia abarca a la biología y microbiología como ciencias básicas. La biotecnología se emplea en farmacia, industria alimenticia, agricultura, medicina y medio ambiente. La biotecnología es una ciencia multidisciplinaria que abarca a la biología, bioquímica, genética, ingeniería, física, química, etc. La biotecnología se encarga del tratamiento de sólidos, líquidos, gaseosos y en la agricultura. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, OCDE, define a la biotecnología como la aplicación de la ciencia y la ingeniería para tratar materiales orgánicos e inorgánicos con sistemas biológicos para crear bienes y servicios. El término “Biotecnología” fue introducido por primera vez por el ingeniero húngaro Károly Ereki, en 1919. Esta ciencia se basa en las técnicas para crear, producir o modificar un producto, ya sean plantas o animales (García, 1994).

La definición de biotecnología según el Diccionario de Biotecnología de las Ciencias de la Vida es la siguiente:

La biotecnología es el uso industrial de organismos vivos o técnicas biológicas desarrolladas en la investigación básica. Los productos

biotecnológicos incluyen: antibióticos, insulina, interferón, ADN recombinante y anticuerpos monoclonales. Las técnicas biotecnológicas incluyen: ingeniería genética, cultivos celulares, cultivos de tejidos, bioprocesados, ingeniería de proteínas, biocatálisis, biosensores y bioingeniería (The Biotech Life Sciences Dictionary, 1993).

Pierre Douzou, un científico francés, propone la evolución de la biotecnología, dividiéndola en tres etapas: la primera, llamada Empírica, en la que las sociedades humanas emplean a la biotecnología para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, industria y territorial; la segunda, llamada de transición, en la cual, se emplean la ciencia y la tecnología; y la tercera etapa, en donde aparece la biotecnología moderna., con la ayuda de la biología molecular. Esta ciencia se dedica al estudio del material genético y sus procesos. De la misma manera se integran más disciplinas para mejorar procesos en situaciones sociales y científicas presentadas por el hombre (Cevallos *et al.*, 2003).

La biotecnología moderna tiene como objetivo el uso inteligente de la biodiversidad, para producir tecnologías eficientes, limpias, competitivas y sobre todo que estén al alcance de todos para satisfacer nuevas necesidades que van apareciendo con el desarrollo del ser humano, en áreas de la salud, agricultura, industria y el ambiental (Soberón, 1998).

La aplicación de la biotecnología se da en la fabricación de combustibles renovables, mejoramiento de procesos o en cultivos resistentes a condiciones

específicas. Esta disciplina tiene ventajas y desventajas para el medio ambiente. Como riesgos se puede citar que podría existir transferencia de genes, causando cambios en las características de forma involuntaria, uso de material patógeno, por ende riesgo en la seguridad del investigador. También se debe tener en cuenta que el uso de la tecnología debe ser responsable para no afectar al medio ambiente (Romero, 2008).

2.1.1. LA BIOTECNOLOGÍA DEL SIGLO XXI

La biotecnología, hoy en día, es la tecnología por excelencia para el tratamiento de las aguas residuales: el tratamiento biológico puede procesar distintos efluentes de manera más eficaz que con métodos químicos o físicos, y se adecua especialmente bien al tratamiento de las aguas residuales contaminadas por los agentes orgánicos más comunes (La Biotecnología, 2005).

A nivel mundial, se ha visto un mayor interés por el empleo de tecnologías más limpias usando fuentes de energía renovables, por ejemplo se ha estudiado y fabricado combustibles biológicos a partir de plantas, como algas que son fuente de hidrógeno. También se pueden emplear desechos orgánicos u organismos específicos para lograr abaratar costos y dar alternativas para tener un mejor manejo ambiental (Ghirardi *et al.*, 2000).

En el siglo XXI, la tecnología ha dado un gran paso y es por esto que la biotecnología ha podido unirse a las nuevas tecnologías de la información y la

comunicación: “TIC”, para así cambiar y mejorar procesos para el beneficio humano. El objetivo ahora es, bajar los costos del uso de estos nuevos productos, para que al comercializarlos estén al alcance de todos.

Algunos ejemplos contribuyen al fortalecimiento de esta ciencia:

- El Proyecto Genoma Humano, PGH, inició en 1990 creado por el Departamento de Energías y los Institutos Nacionales de la Salud de los Estados Unidos. Este proyecto tenía como objetivo identificar y analizar los genes del ADN en el genoma humano. De esta manera se lograron identificar enfermedades y cambios genéticos que hoy en día se los puede diagnosticar, prevenir y tratar de forma más oportuna (National Human Genome Research Institute, 2009).
- La clonación es un proceso por el cual de manera asexual se realizan copias idénticas de organismos. Este proyecto ha avanzado velozmente y ha recibido ayuda de la biotecnología en procesos como los de clonación molecular, cuyos beneficios se ven reflejados en la industria alimenticia (Department of Energy Human Genome, 2013).
- Las células madre son células indiferenciadas que se encuentra en los organismos y gracias a la biotecnología se han estudiado sus usos para el tratamiento celular de ciertas enfermedades como el Parkinson (AgeBio, 2013).

2.1.2. RETOS DE LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

Existen cinco grandes ámbitos de aplicación de la biotecnología ambiental, en la que, con el avance de la tecnología y al tener más recursos disponibles, se puede observar un gran avance (La Base de la Nueva Economía, 2004). Estos campos son:

- El cambio climático: La biotecnología tiene como objetivo producir un desarrollo sostenible, debido a esto se han creado procesos que han minimizado los efectos negativos en el ambiente. A pesar de los intentos realizados, no se ha podido eliminar el uso de combustibles fósiles y la producción de contaminantes atmosféricos, que afectan al suelo, agua, aire, etc. El progreso se ha observado en los últimos años con la producción de microorganismos a partir de algas, que son capaces de absorber el CO₂ causante del efecto invernadero. Al reducir los efectos del cambio climático se espera obtener beneficios ambientales y económicos. Se ha introducido un término para la biotecnología responsable de la contaminación ambiental, Biotecnología Blanca; se caracteriza por emplear animales o plantas para producir compuestos químicos, textiles, alimenticios y energía sin causar daño alguno al medio ambiente (Zamora, 2009).
- Energías alternativas: Cada día se ve la importancia de emplear recursos naturales renovables, ya que los no renovables con el paso del tiempo han ido disminuyendo su disponibilidad; además con el uso de combustibles fósiles se

ha demostrado una gran contaminación en el planeta. El problema que se ocasiona al emplear energías renovables, es que el uso de la tecnología necesaria no está al alcance de todos, ya que es muy costoso la producción de estas, para el uso común. Es por esto que se ha desarrollado diferentes propuestas para abaratar costos y lograr generar combustibles a partir de compuestos orgánicos o la fabricación de paneles solares para aprovechar la energía luminosa y transformarla en electricidad.

- Procesos de reciclaje: se puede esperar un mayor desarrollo. Se han creado microorganismos capaces de reciclar y también se puede citar la bioremediación, en el tratamiento de aguas para implementar tecnologías limpias, con la manipulación de los desechos y en el futuro se puedan aprovechar mejor los recursos (Ábrego *et al.*, 2014).
- Los recursos hídricos: es uno de los recursos más importantes en la aplicación de la biotecnología. El agua es vital para el ser humano, es por esto que se han buscado maneras de que sea viable para todos y que el agua de desecho no contamine ecosistemas y sea perjudicial para la salud humana (Blanch, 2010).
- Salud: la biotecnología ha obtenido diferentes métodos para tratar enfermedades; hoy en día es una labor muy importante ya que los organismos patógenos han desarrollado resistencia a ciertos antibióticos. El objetivo de la

biotecnología resulta ser, buscar maneras de detener la propagación de los mismos y mantener el cuidado de la salud humana (Bassel y Waters, 2005).

2.2. ENERGÍA RENOVABLE, FUENTE IMPORTANTE DE ENERGÍA

La energía renovable se obtiene a partir de fuentes renovables que contienen una alta cantidad de energía y tienen la habilidad de regenerarse mediante procesos naturales, estas fuentes se las encuentra en la naturaleza y después de ser empleadas no tienen ningún efecto secundario en el medio ambiente, por lo que se las considera fuentes limpias.

Los tipos de energía renovables son: eólica, solar, biomasa, biocombustibles, geotérmica y mareomotriz. Estas energías fueron conocidas en los años 80, como energías alternativas, ya que correspondían a una alternativa en los sistemas energéticos de la sociedad; sin embargo hoy en día, no son más alternativas, son la energía que se emplea actualmente para un uso limpio con fuentes renovables, para la transformación en energía útil para el ser humano, en sus desarrollo sostenible y sustentable.

La energía renovable tiene como objeto utilizar los recursos naturales renovables, para que de esta manera se pueda emplear la energía recibida en energía utilizable tal como con la energía eléctrica convertida luego en electricidad (Belmonte *et al.*, 2009).

2.2.1. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Como se citó anteriormente, los tipos de energía renovable pueden ser: eólica, solar, biomasa, biocombustibles, geotérmica e hidráulica. Se describen a continuación los más empleados mundialmente:

La energía geotérmica: este tipo de energía es producida desde el interior de la Tierra, por el magma que puede circular por el movimiento de las placas tectónicas. El magma calienta fuentes hídricas aumentando su temperatura hasta llegar aproximadamente a 200 °C. Este vapor que se produce es el responsable de realizar cualquier trabajo. Se puede encontrar reservorios geotermales en géiseres y fuentes de agua termal. La energía geotérmica se emplea de forma directa como energía calórica y de forma indirecta como electricidad. Principalmente se emplea en lugares que tengan volcanes como en Chile (CEGA, 2013).

La energía eólica: este tipo de energía es renovable ya que se emplea el viento para que, con el uso de aerogeneradores, la energía cinética del viento sea transformada en energía mecánica, la cual terminará convirtiéndose en electricidad. La ventaja de este tipo de energía es que el viento es una fuente inagotable, la desventaja es que por las condiciones geográficas no se puede producir energía eólica en todos los lugares (Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo sustentable, 2006).

La energía de biomasa: la biomasa es la materia orgánica contenida en productos de origen vegetal y animal (incluye desechos orgánicos) que puede ser capturada y usada como una fuente de energía química almacenada. La bioenergía resulta cuando los combustibles de la biomasa, de reciente origen biológico, son usados para fines energéticos. La biomasa tiene ventajas en la producción de energía: es fácil de transportar, puede almacenar la energía en sus propios componentes, se la puede emplear en cualquier momento, y no es perjudicial para el ambiente ya que se degrada fácilmente en condiciones adecuadas. La bioenergía puede ser empleada en servicios como la calefacción, alumbrado, entretenimiento, información, entre otros. La biomasa es considerada una fuente de producción renovable de hidrógeno (Díaz, 1990).

La energía hidráulica: esta es producida por la transformación de energía potencial gravitatoria en energía cinética, para de esta manera llegar a la central hidroeléctrica y convertirse en energía eléctrica. Se puede emplear agua retenida a gran altura. La ventaja de la energía hidráulica es ser una fuente de energía limpia y fácil de almacenar. Sin embargo, también tiene desventajas, como: el costo de la construcción de una central hidroeléctrica es elevado, el espacio que se requiere es grande y que se puede perjudicar a flora y fauna presentes en el lugar, además el defecto más importante es que cambian la calidad de las aguas (Recio, 2001).

La energía solar: esta energía tiene como fuente renovable al sol, se puede usar para aplicaciones con energía calórica y electricidad. La energía solar se puede clasificar en tres tipos: energía solar termoeléctrica, la cual puede

transformar la energía solar (el calor) en energía eléctrica de forma indirecta; la energía solar fototérmica, la cual transforma el calor y colecta la energía en paneles fototérmicos que almacenan la energía calórica, y la energía solar fotovoltaica, la que emplea la energía lumínica del sol y la transforma en electricidad a partir de paneles solares con celdas fotovoltaicas (Alarcón, 2011).

Este último tipo de energía solar es el que nos interesa para el trabajo monográfico, ya que en la fabricación de estas celdas se han introducido a los carotenoides para su mejor eficiencia en el proceso de transformación de energías y además abaratar los costos en su fabricación.

Por ello, reconocer que el uso de las energías renovables está al alcance de todos, es preocuparse por tener producciones más limpias, para tener en cuenta la eficiencia energética, ya que su uso seguro ayudará siempre al bienestar de la humanidad.

3. CELDAS SOLARES

3.1. PANELES SOLARES

Los paneles solares son dispositivos creados para emplear la energía de la radiación solar. Los paneles pueden emplear la energía solar térmica y/o la energía solar fotovoltaica. Los paneles fotovoltaicos son los responsables de convertir la energía solar voltaica en electricidad. Están compuestos de un conjunto de celdas fotovoltaicas. Estas celdas se basan en el efecto fotovoltaico.

El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones por la incidencia de radiación electromagnética sobre un material, de este concepto se puede explicar el efecto fotovoltaico que es la transformación de energía lumínica en electricidad. El efecto fotoeléctrico se aplica en la actualidad en la producción de energía eléctrica basada en la energía solar. Debido a esto se lo emplea en células de detectores, sensores de cámaras digitales, electroscopios y celdas fotovoltaicas (Roper, 2011).

Las celdas solares para uso espacial se fabrican con silicio cristalino. En Argentina, la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) realizaron un proyecto de paneles solares para el satélite de observación argentino SAOCOM. Las características de fabricación que se presentan en el proyecto son:

Celdas de calibración:

- La dimensión de las celdas es: (20mm × 40mm y 40mm × 40mm).
- Se empleó obleas de silicio.
- Las celdas presentan 4 terminales.
- Constan de una cubierta de vidrio.
- El pegado se realiza en un soporte de latón.

Celdas solares:

- Se emplearon celdas de galio y arsénico, GaAs, sobre un sustrato de germanio, Ge.
- Se realizaron estudios con vidrio protector y sin vidrio protector.
- Se empleó una base termostatzada para el control de la temperatura.

Interconectores: Las celdas solares están conectadas entre sí con interconectores metálicos con espesores de 10 a 40 μm . Los interconectores son los conductores eléctricos en las celdas. Estos elementos están fabricados de molibdeno, Mo, por sus características no magnéticas. Los interconectores están soldados mediante soldadura blanda, la cual está basada en la conductividad eléctrica mecánica para evitar impurezas. Se han empleado aleaciones de estaño, plomo y plata, Sn-Pb-Ag, y estaño y plata, Sn-Ag. Por otro lado, el pegado de las celdas debe ser el indicado para que no haya pérdidas de sustrato o formación de residuos. Se debe pegar el vidrio protector y luego, el vidrio a la celda (Durán *et al.*, 2002).

En la Figura 14, se presenta la estructura de las celdas fotovoltaicas fabricadas con Silicio. Se puede observar que la oblea de silicio actúa como semiconductor, al permitir el paso de cargas positivas o negativas a través del mismo.

3.2. CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las células fotovoltaicas son dispositivos que se encargan de transformar la energía lumínica del sol en electricidad. Estos dispositivos usan el efecto fotovoltaico como base para sus procesos. Las celdas fotovoltaicas reciben los fotones como energía lumínica; un fotón excita un electrón, estos electrones libres producidos cuando son capturados el sistema genera corriente eléctrica, la cual se la emplea como electricidad. Estas están compuestas por materiales semiconductores como el silicio. Se ocupan placas de silicio, una positiva y una negativa, para que se forme un campo eléctrico. El fotón proveniente de la luz solar choca con el material semiconductor y libera electrones que son recogidos por el circuito, quiere decir que se produce energía por la excitación de un sólido.

El material semiconductor que se emplea en las células fotovoltaicas, es el silicio, el cual tiene cuatro electrones de valencia. Este material, elemento puro, no presenta conductividad, sin embargo al doparle (unión con pequeñas partículas de diferentes metales, *impurezas*) con elementos como el galio, indio, boro, etc., alcanza a ser un buen semiconductor, al excitarse puede formar dos tipos de silicio; *el silicio tipo P* y *el silicio tipo N*. De esta manera, *el silicio tipo N*,

tiene un flujo de corriente causado por las cargas negativas añadidas, como electrones libres, esta propiedad logra que el silicio gane electrones y se reduzca; por otro lado, el *silicio tipo P*, será el que tenga más “huecos” ocasionados por la pérdida de electrones, ya que este se oxida. Al dejar espacios vacíos los electrones libres del *silicio N* empiezan a circular hacia el *silicio tipo P*, formando una *unión PN*, la cual actúa como un diodo en las celdas, controlando que el flujo de corriente se realice en una sola dirección, formando así una polarización de la corriente, como se muestra en la Figura 15. El flujo producido se puede controlar aplicando un voltaje proveniente de una fuente, como una celda fotovoltaica. (Malvino *et al.*, 2001)

De esta forma, el silicio con sus modificaciones llega a ser un buen semiconductor para la fabricación de celdas fotovoltaicas. Se produce un ciclo, en donde, los electrones pueden circular por el cristal de la celda, buscando un equilibrio. En el cristal incide la luz del sol y la parte negativa del cristal emite electrones y se dirigen a los electrodos conectados con la parte positiva. Mediante circuitos en serie o paralelo, logrando generar una corriente eléctrica (Romo, 2002).

Una celda fotovoltaica consiste en un semiconductor, que tiene la característica de poder modificar sus cargas positivas y negativas, siendo aceptor o dador de electrones. Al tener una diferencia entre sus cargas positivas y negativas, los semiconductores generan un campo eléctrico y por ende una diferencia de potencial. Además una celda fotovoltaica necesita obtener una fuente de radiación luminosa, la que permite crear una corriente por el paso de

electrones excitados, empleando los fotones absorbidos. Y cerrando el circuito eléctrico para producir la corriente eléctrica (Jofra y Puig, 2007).

En la Figura 16, se muestra un diagrama de la corriente eléctrica producida por el paso de cargas eléctricas mediante el uso de los interconectores, formando un circuito cerrado.

La clave para la fabricación de las celdas fotovoltaicas es la fotosíntesis, que realiza el mismo proceso en las plantas, transforma mediante transferencia de electrones la energía lumínica en energía química, sin embargo no se ha llegado a reproducir un sistema artificial tan eficiente que realice procesos fotosintéticos como en las plantas.

Con respecto al efecto fotovoltaico, la celda que actualmente se utiliza es la de Silicio, creada por Russell Ohl, ingeniero estadounidense, quien aportó con la unión P-N en el silicio. Esta celda fue construida en 1940 y patentada en 1946. Gerald Pearson, fue un físico estadounidense, quien trabajaba con silicio, comprobando y analizando sus aplicaciones. En uno de sus experimentos, Pearson fabricó una celda fotovoltaica, con semiconductores. En 1954, junto a Daryl Chapin y Calvin Souther Fuller, realizaron la primera célula fotovoltaica, esta ha sido perfeccionada con el tiempo para que pudiera proporcionar mayor energía eléctrica, dándole así mayores aplicaciones a las mismas. (Jofra y Puig, 2007).

Las células fotovoltaicas se han empleado desde 1958, en satélites artificiales mandados al espacio, como suministro de energía eléctrica, el primer satélite enviado demostró que las celdas que empleaba duraron cinco años y funcionaron mejor que las baterías normales. Esta es una tecnología que es bastante costosa. El 17 de marzo de 1958, finalmente se lanza el Vanguard I, el primer satélite alimentado con paneles solares fotovoltaicos. Este satélite llevaba consigo, energía más eficiente, sin embargo, no sabían que al final del trayecto la fuente de energía principal serían los paneles solares fotovoltaicos, ya que las baterías originales solo funcionaron por veinte días. Los paneles fotovoltaicos, por el contrario, funcionaron por cinco años (Santana, 2009).

Después de este hallazgo, la compañía Exxon, de combustibles para vehículos a motor, informa al mundo que una de sus empresas socias, Solar Power Corporation, está interesada en la energía renovable y empieza con la comercialización de celdas y paneles solares fotovoltaicos, los cuales serían de mejor eficiencia que las energías que se ocupan en ese período. Las primeras aplicaciones para las celdas fotovoltaicas fueron para: boyas luminosas para señalización marítima, en ferroviaria y antenas para comunicaciones.

3.2.1. SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas, conectados en serie o en paralelo, para producir corriente continua a partir de energía luminosa.

Éstos módulos pueden variar dependiendo del material que se haya usado para su construcción al igual que sus procesos de fabricación: (IEA, 2014).

- Silicio monocristalino (Si): este tipo de módulo se fabrica a partir del silicio puro que se encuentra en lingotes.
- Silicio policristalino (Si): este tipo de módulo de silicio es fabricado con piezas de silicio puro fundidas.
- Silicio amorfo (Thin film): estos módulos de silicio, se fabrican con piezas de silicio puro fundidas y se añade capas de otros semiconductores u otras tecnologías. Estas celdas presentan un rendimiento de un 18%, tienen un mayor rendimiento que las citadas anteriormente.

Para la fabricación de las celdas se emplean otros materiales como (Jofra y Puig, 2007):

- Diseleniuro de cobre e indio (CuInSe_2): este módulo está formado por capas de cobre, indio y selenio. Este tipo de semiconductor ya no se emplea debido a su alta toxicidad.
- Teluro de Cadmio, CdTe .: este módulo se fabrica a partir de telurio y cadmio.

En los paneles fotovoltaicos es indispensable contar con un regulador de carga, ya que si la luz incidente fuera excesiva, el panel se sobrecargaría. Con el regulador, el panel es capaz de funcionar en condiciones óptimas a pesar de que

la carga luminosa no fuera la adecuada. La energía recibida se almacena en las baterías, elementos que ayudan a conservar la energía producida para cargarlas y de esta forma puedan actuar como baterías comunes. En las celdas fotovoltaicas se emplean baterías de plomo ácido (Best *et al.*, 2000).

Las celdas solares se vuelven competitivas frente a otras tecnologías fotovoltaicas. En un futuro cercano, se comenzará la explotación masiva de su recurso solar, y; dadas las barreras económicas y financieras que actualmente afectan al mercado fotovoltaico, el uso de la tecnología orgánica aceleraría la instalación de la nueva capacidad fotovoltaica.

4. APLICACIÓN DE LOS CAROTENOIDES EN LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

4.1. INFLUENCIA DE LOS CAROTENOIDES EN LA BIOTECNOLOGÍA

Se han tomado en cuenta las funciones de los carotenoides para aplicarlos en diferentes áreas como la biotecnología alimentaria y la biotecnología ambiental. En la actualidad la aplicación de estas sustancias se enfoca mayormente en la biotecnología alimentaria, ya que se los obtiene a partir de los productos alimenticios y se los emplea como suplementos vitamínicos. Por otro lado, también se emplean como pigmentos naturales para mejorar la apariencia de diferentes alimentos, como al dar color a productos artificiales para que se asemejen a los naturales.

Estudios han comprobado que los carotenoides son capaces de ayudar al organismo en la disminución de riesgos en enfermedades cardiovasculares o degenerativas, causadas por el envejecimiento de células ya sea en la piel o en los ojos, principalmente; se ha dado esta característica ya que estos compuestos son antioxidantes que ayudan a incrementar el sistema inmunológico (Oñate, 2008).

Por ejemplo, como se cita a continuación, se emplean a los carotenoides para fabricar antioxidantes potentes para los organismos:

La bioproducción de carotenoides de origen natural mediante la construcción y utilización de cepas superproductoras de la levadura *Phaffia rhodozyma* como factorías celulares comercialmente competitivas en el campo de la producción de antioxidantes, principalmente astaxantina. También la transformación de bacterias y levaduras de interés biotecnológico para producción de moléculas antioxidantes mediante el control de los genes y las rutas de biosíntesis de carotenoides, como es el caso de *Gordonia Jacobea*, capaz de sintetizar y acumular grandes cantidades de cantaxantina (Roque *et al.*, 2012).

En cuanto a los carotenoides y la biotecnología ambiental, se puede decir que su aplicación más importante se da en la fabricación de células fotovoltaicas sensibilizadas con pigmentos naturales. Se han empleado estas sustancias para mejorar la eficiencia de las celdas tradicionales y además bajar el costo de su fabricación. Mediante el uso de los carotenoides, se puede lograr emplear los rayos solares como energía lumínica y transformarlos a energía química o eléctrica dependiendo del uso. Esta aplicación se ha podido desarrollar por el estudio que se ha dado a la fotosíntesis en plantas y por esto se han generado estos dispositivos, para cambiar el uso de combustibles fósiles por fuentes de energía renovable y en este caso los carotenoides.

4.2. INFLUENCIA DE LAS CELDAS SOLARES EN LA BIOTECNOLOGÍA

En el caso de la conversión directa de luz solar en energía eléctrica se puede lograr mediante el uso de celdas solares. Los químicos han trabajado durante los últimos diez años en otra forma de celda solar fotovoltaica basada en el concepto de sensibilización por pigmentos. Estas están emergiendo rápidamente como un prometedor sistema polivalente, potencialmente de bajo costo para la conversión de energía solar en electricidad. Por otro lado, la posibilidad del uso de nuevos materiales desarrollados por el hombre, con diferentes morfologías y modificaciones en su superficie, que tienen la capacidad de absorber una amplia gama del espectro de energía, con el fin de ser considerados como semiconductores tipo *N* o *P*, relacionados con el movimiento de electrones o de cargas positivas, como ya se explicó anteriormente. (Kalyanasundaram y Grätzel, 2010).

Las energías alternativas como la solar han encontrado en ella todos los mecanismos necesarios para lograr los resultados deseados.

4.3. CÉLULAS SOLARES DE GRÄTZEL

Michael Grätzel nació en Dorfchemnitz, Alemania en 1944; es un químico que ha recibido varios premios gracias a los estudios realizados con las células fotovoltaicas. En 1991, Grätzel fabricó por primera vez las células solares

sensibilizadas con colorantes (DSC: Dye-sensibilized cells), las cuales reciben su nombre: Celdas Grätzel. Dichas celdas funcionan como las celdas tradicionales, transformando energía luminosa en electricidad. Las características más importantes de estos dispositivos es que son de fácil fabricación y bajo costo de producción. (Kalyanasundaram y Grätzel, 2010).

4.3.1. SISTEMA DE OPERACIÓN DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA SENSIBILIZADA CON TINTA

La radiación emitida es absorbida por el colorante; a continuación el colorante pasa a un estado excitado (D^*), la longitud de onda máxima de absorción es 535 nm. Los electrones excitados pasan al semiconductor Ti_2O , que se encuentra en el electrodo compuesto y pasan por la red nanocrystalina, formando un corriente de electrones, hasta llegar al electrodo simple donde, el platino que lo forma los cataliza y estabiliza. La transferencia de electrones ocurre debido a que existen cambios en los niveles de energía. En la Figura 17, se representa el diagrama de una DSC, reconociendo los dos electrodos, las partículas del semiconductor y las partículas del tinte empleado.

Las celdas tienen una duración máxima de cinco años. Debido a los materiales que se emplean, los colorantes empleados son altamente degradables y reaccionan con el oxígeno o con altas temperaturas. Es importante que las celdas estén selladas completamente para aprovechar mejor los materiales y no haya cambios en la eficiencia debido a factores externos (Rocha et al., 2013).

Las celdas pueden conectarse entre sí para formar módulos, se las puede emplear para aumentar el voltaje o para aumentar la corriente al recibir una fuente de radiación. Se pueden conectar en serie o paralelo:

Celdas conectadas en paralelo: en este caso la intensidad de corriente será la suma de cada una de las intensidades de corriente de las celdas. Mientras que el potencial será el mismo para cada una de las celdas. En este tipo de conexión los ánodos quedan de un lado y los cátodos del otro (Formentín, 2013).

Celdas conectadas en serie: el cátodo de la primera celda está conectado al ánodo de la segunda y así sucesivamente. En este caso, la intensidad de corriente es la misma para cada celda y el potencial va a ser la suma de cada una (Formentín, 2013).

4.3.1. ELEMENTOS EMPLEADOS EN LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS SENSIBILIZADAS CON COLORANTE.

SEMICONDUCTORES

Los semiconductores son materiales con una conductividad menor que los metales, esta conductividad aumenta con el aumento de temperatura. Son sustancias sólidas, normalmente óxidos, que forman redes tridimensionales (Quintana, 2008).

Los semiconductores que se emplean en las celdas son dióxido de titanio u óxido de zinc, estos semiconductores son más baratos que el silicio. Los semiconductores son fotocatalizadores eficaces, que absorben los rayos solares. Sobre los semiconductores se impregnan las tintas de los colorantes, en este caso pueden ser xantófilas o carotenos (Lozano, 2009).

Óxido de titanio, TiO_2

El óxido de titanio TiO_2 , es un compuesto inorgánico empleado en la fabricación de celdas fotovoltaicas por sus propiedades de semiconductor; también se emplea en protectores solares, pinturas, pasta de dientes y como pigmento inorgánico blanco. Este componente actúa con otros materiales en la fabricación de celdas en el área del medio ambiente. Se realizan nanocristales para la aplicación del compuesto en celdas solares. El óxido de titanio tiene tres fases cristalinas: anatasa, brookita y rutilo. En estas diferentes estructuras el titanio se encuentra en el centro y los átomos de oxígeno lo rodean formando octaedros, en diferentes configuraciones. El dióxido de titanio es considerado un pigmento ya que puede absorber radiación ultravioleta, UV, presentando de esta forma un poder de recubrimiento y ayudan a prevenir daños producidos por la luz ultravioleta, UV; también tiene bajo costo comparado con el silicio y no es tóxico como el diseleniuro de indio y cobre. Al reducir el tamaño de particular y crear nanopartículas del compuesto tienen una mayor banda de conducción. Este compuesto se utiliza en celdas solares debido a que tiene una gran capacidad de ser fotocatalizador, ayudando de esta manera a acelerar las reacciones químicas causadas por la radiación luminosa. El óxido de titanio se encuentra en la

naturaleza en forma de ilmenita que es óxido de titanio con hierro, FeTiO_3 (Ecured, 2013).

Óxido de Zinc, ZnO .

El óxido de zinc, ZnO , es un compuesto inorgánico empleado en la fabricación de celdas fotovoltaicas. El óxido de zinc tiene propiedades ópticas en el espectro UV. Su estructura es hexagonal debido a las electronegatividades entre sus elementos. Es estable y se lo puede encontrar como wurzita, la sal de roca y blenda de zinc. Cada oxígeno se encuentra rodeado de los cationes en las esquinas de un tetraedro. Con este compuesto también se pueden fabricar nanopartículas (Vicente, 2003). En la Figura 18, se muestran las estructuras cristalinas del óxido de zinc. El literal (a) corresponde a la sal de roca; el literal (b) a la blenda de zinc y el (c) a la wurzita.

ELECTROLITOS

El electrolito más empleado para la fabricación de celdas DSSC, es el yodo/yoduro. Estos compuestos están formados básicamente por iones, en donde ocurren reacciones de óxido reducción, en donde un elemento se reduce (gana electrones) y otro se oxida (pierde electrones). Los electrolitos son los encargados de dar un electrón al colorante (Formentín, 2013).

ELECTRODOS

Las DSSC están formadas por dos electrodos, uno simple y un contraelectrodo (Formentín, 2013).

- Electrodo Simple: formado por vidrio de 2.5 mm de espesor cubierto por una capa conductora de un óxido (TCO), puede ser formado por óxido de estaño dopado con flúor. El vidrio es una sustancia aislante que no permite el paso de electrones. El TCO conduce la corriente ya que es conductor.
- Contraelectrodo: es un electrodo formado por TCO, pero está cubierto por grafito o platino para que pueda ser más conductor, y elimine la resistencia producida. Los electrones que recoleta son enviados al electrolito.

COLORANTES

Los colorantes empleados en las DSSC, son los encargados de ampliar el espectro, absorben la radiación en diferentes longitudes de onda, dependiendo del compuesto. El objetivo es que absorban en el rango del visible (Formentín, 2013). En la Figura 19, se muestra un esquema del espectro electromagnético, en donde se puede ver que el rango de longitud de onda va de 400 nm a 700 nm.

4.3.2. METODOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE LOS ELECTRODOS

- Electrodo simple: Para la fabricación del electrodo simple se emplea una película de titanio cristalino y se la coloca en un sustrato de vidrio transparente, previamente cubierto de dióxido de estaño dopado con flúor, cuya resistencia es de 8 - 10 Ω (ohmios). Y 50 μm de grosor. Una vez que ya se ha puesto el óxido de titanio en el sustrato, se lo impregna con el pigmento ya sea orgánico o inorgánico. El tiempo de impregnación depende del material empleado.
- Contraelectrodo: este electrodo se fabrica con platino, Pt, en otro sustrato de vidrio, se seca el platino a 100 °C por 30 minutos y se inyecta el electrolito (Basile, 2009).

Es importante decir que el material necesita ser limpiado de forma adecuada con etanol.

4.4. LOS CAROTENOIDES Y LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS SENSIBILIZADAS CON PIGMENTOS NATURALES

4.4.1. PIGMENTOS NATURALES

Los pigmentos naturales fotosintéticos tienen la habilidad de absorber la radiación de un cuerpo a temperatura ambiente y emplearla en la fotosíntesis. Estos pigmentos se encuentran en los tilacoides de las plantas. Las clorofilas en los cloroplastos y los carotenoides en los cromoplastos.

La fotosíntesis cumple con tres etapas:

- Absorber los fotones de la radiación emitida.
- La separación de cargas en la transferencia de electrones producida.
- Reducir el agua y el dióxido de carbono producido, gracias a la energía química transformada.

Los carotenoides y la clorofila tienen distintos rangos de absorción. Es por esto, que sus colores en el espectro visible son variados entre azules, verdes, naranjas, amarillos y rojos. El color que se logra observar depende de las longitudes de onda a las que estos compuestos absorben la radiación (Loustau y Río, 2012)

Según Grätzel, los extractos de los colorantes deben tener las siguientes propiedades y características.

- Una absorción significativa de la luz de la zona visible al infrarrojo cercano, IR, para captar la mayor parte de los fotones de la radiación solar.
- Estados excitados de baja energía que sean capaces de participar en el proceso de transferencia de electrones.
- Los niveles de energía del colorante en el estado basal y en el estado excitado deben ser tales, que permitan la transferencia de carga en el estado excitado a la banda de enlace del semiconductor, y que también permita la regeneración cuantitativa del colorante con mediadores redox.
- Presencia de grupos de anclaje que promuevan el acoplamiento eficiente del colorante en estado excitado con los niveles del aceptor del óxido del semiconductor.
- Estabilidad química adecuada del colorante que tolere una gran cantidad de ciclos redox (Martínez, 2014).

4.4.2. CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS CON CAROTENOIDES

Las celdas Grätzel constan de un electrodo simple de vidrio conductor y un electrodo compuesto fabricado de nanocristales de dióxido de titanio. Sobre el electrodo compuesto, se impregna una sustancia coloreada, la cual puede tener

pigmentos naturales como los carotenos y las xantófilas. Cuando la luz incide en los carotenoides empleados, logra que estos simulen la fotosíntesis y se exciten sus electrones para pasar a un nivel energético de mayor energía. El electrón es desprendido y pasa del electrodo compuesto al electrodo simple, y empieza el circuito de transferencia de electrones desde el electrodo compuesto sensibilizado con los carotenoides, hacia el electrodo simple. Esta transferencia de electrones se la conoce como corriente eléctrica. (Carcelén, 2004)

Estas celdas son conocidas con sus siglas en inglés DSSC (dye-sensitized solar cell). Son consideradas como celdas fotovoltaicas orgánicas ya que su principal característica es tener un colorante orgánico, el cual es responsable de absorber la radiación solar. Los colorantes empleados son impregnados en el semiconductor (dióxido de titanio) y se realiza la transferencia de electrones. En la Figura 20 se representa un esquema de una celda DSSC.

Se debe tener en cuenta que, los carotenoides son lípidos, por esto los solventes que se empleen para su extracción van a depender del tipo de carotenoide que se quiera emplear, se realizan los filtrados y secados en condiciones ambientales adecuadas. En los estudios realizados se han empleado compuestos orgánicos como metanol, etanol y acetona. Se realizan los extractos de las flores, frutos o raíces y se realizan diferentes lavados con el solvente adecuado para la extracción del compuesto que se vaya a emplear. Una vez obtenido el extracto de los carotenoides se impregnan en los semiconductores

que se encuentra como nanopartículas de óxido de titanio. El tiempo promedio para la impregnación es de 24 horas (Kalyanasundaram y Grätzel, 2010).

4.5. ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE CAROTENOIDES EN CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS CON COLORANTES.

El Dr. Paulraj Manidurai y el Dr. Sivakumar Radhakrishnan, han estado investigado sobre la forma de producción de energía renovable a partir de alimentos. Esta investigación se está desarrollando en la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Concepción, Chile. Los doctores han creado celdas solares de tinta sensibilizada o DSSC. Según el Dr. Manidurai, mediante la adición de carotenoides a las celdas se logra ampliar el espectro de absorción y de esta manera aumentar la eficiencia de las celdas. Hasta el momento se han creado ya las DSSC a partir de cereza, frambuesa y remolacha. En la actualidad se fabrican las DSSC de mortiño, capulí, espinaca, zanahoria y zapallo. Una vez realizadas las celdas, los doctores comprobarán eficiencias en producción de la energía eléctrica.

Los estudiantes de la Universidad Politécnica de Victoria, en México, han desarrollado DSSC a partir de zarzamoras, flor de jamaica y remolacha. Se compararon voltajes de los tres colorantes, midiendo así la eficiencia de las celdas dependiendo del colorante empleado. En este trabajo se concluyó que los pigmentos presentes en las zarzamoras producían un mayor voltaje que el de la

flor de jamaica y estos a su vez, mayor a los de betabel, como se presenta en la Figura 21 (Rocha *et al.*, 2013).

En enero de 2013, el Periódico Internacional de Ciencia Electroquímica, publicó el ensayo científico: “Fotoquímica para el extracto de col morada como colorante natural para una celda solar sensibilizada con tinta”, realizado por científicos de China y Arabia Saudita, quienes fabricaron una celda DSSC con extracto de col morada. El extracto de los pigmentos se realizó con soluciones de metanol y agua, el electrodo complejo de óxido de titanio fue sumergido en el extracto por 24 horas para incrementar su impregnación (AlHemaid *et al.*, 2013).

María Fernanda Cerdá y Paula Enciso, de la Universidad de la República en Montevideo, Uruguay, realizaron la caracterización de pigmentos naturales para la fabricación de DSSC. El extracto del pigmento se lo obtuvo con etanol al 95%, después de maceradas las flores de ceibo, se filtra y se seca, controlando la temperatura, para que los pigmentos no pierdan sus propiedades (Cerdá y Enciso, 2014).

Se han realizado diferentes estudios de los carotenoides y su aplicación en las DSSC. Se emplean métodos de extracción sencillos y baratos, para la fabricación de los electrodos se emplean diferentes materiales, hoy en día se han buscado más sustancias conductoras a menor precio y se están realizando diferentes extractos naturales para poder impregnarlos en los electrodos y ampliar el espectro de absorción para mejorar la eficiencia de las celdas (Álvarez *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió el objetivo general al realizar una investigación bibliográfica sobre los carotenoides y su aplicación en la biotecnología ambiental, concluyendo que estos pigmentos naturales son empleados en la fabricación de celdas solares sensibilizadas con colorante, las cuales son empleadas para producir energía eléctrica a partir de una fuente de energía renovable como es la energía solar.

Se logró cumplir con los objetivos específicos planteados, los cuales se detallan a continuación:

- Se explicó detalladamente las características de los carotenoides, reconociendo que, los carotenoides son lípidos insolubles, específicamente tetraterpenos, compuestos por ocho unidades de isopreno, y su extracción se debe realizar con compuestos afines como el etanol. Además, otra característica de los carotenoides es que tienen enlaces π conjugados, sistema responsable de que estos compuestos actúen como sustancias fotosintéticas, debido a su poder de absorber radiación en el espectro visible.

- Sabiendo que la biotecnología desempeña un papel muy importante hoy en día, se indagó sobre su concepto, reconociendo que al emplear fuentes de energía renovables se puede obtener un desarrollo sostenible y sustentable con el uso de técnicas limpias. Además, la biotecnología contribuye a la generación de

energías más limpias y, así, aporta a reducir la degradación del entorno; por lo que debe gestionarse de forma estratégica.

- Finalmente, se analizó la aplicación de los carotenoides en la elaboración de celdas solares sensibilizadas; concluyendo que esta aplicación tienen un menor costo en los procesos de fabricación que en los procesos de una celda fotovoltaica. Ya que se ha reemplazado al silicio por óxido de titanio o zinc. Asimismo, los pigmentos fotosintéticos que se emplean en la fabricación de celdas solares, ayudan al sistema a ampliar su rango de longitud de onda en el espectro, y son de fácil obtención; sin embargo, estos pigmentos tiende a degradarse con rapidez.

Empleando fuentes bibliográficas se logró exponer el funcionamiento y la fabricación de las celdas fotovoltaicas. Se concluye que las celdas fotovoltaicas utilizan dos tipos de electrodos, el simple y el contraelectrodo, elaborados con platino y oxido de estaño dopado de flúor.

Después de realizar este estudio monográfico, se recomienda que se continúen las investigaciones en la biotecnología y, en particular, en el tema tratado. Para esto, es importante que la sociedad, representada por los respectivos gobiernos, invierta recursos en el desarrollo de las estas nuevas tecnologías, en donde no se emplean los hidrocarburos, que además de contaminar el ambiente, son fuentes de energía no renovables y algún día no se podrá contar con ellas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ábrego, U., Escamilla, K., y Martínez, L. **Biotecnología Ambiental**. Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingeniería, I. 2014
- AgenBio Consejo Argentino para la información y el Desarrollo de la Biotecnología. **Biotecnología**. [en línea]. 2013. Disponible en: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuadernoyopt=5ytipo=1ynote=83> [Fecha de consulta: 1 de febrero de 2015]
- Alarcón, D. **Solar Energy And Water Processes And Applications**. [en línea]. Solar Paces Organization. 2011. Disponible en: http://www.solarpaces.org/images/task/SolarPaces_TaskVI_CSPD_Activity_Final_Report.pdf [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015]
- AlHemaid, F.; Li, Y., Ku, S. y Ali, M. **Photoelectrochemistry for Red Cabbage Extract as Natural Dye to Develop a Dye-Sensitized Solar Cells**. [en línea]. 2013. International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, 8. 2013. disponible en: <http://www.spm.com.cn/papers/0126.pdf> [Fecha de consulta: 30 de enero de 2015].
- Allison, J., Frey, M., Guess, C. y Kurtzberg, J. **Umbilical Cord Stem Cell Transplantation**. [en línea]. 2008. Seminars in Oncology Nursing. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749208109000242> [Fecha de consulta: 30 de enero de 2015].
- Álvarez, L., Barragán, B., y Hernández, M. **Producción biotecnológica y aplicaciones de celdas solares de los carotenoides**. Revista Sistemas Ambientales , 4 (1). 2009
- Asamblea General EFB. **Biotecnología**. [en línea]. 1989. Disponible en: <http://www.eurodoctor.it/biotech.htm> [Fecha de consulta: 8 de febrero de 2015
- Astiasarán, I., Lasheras, B., Ariño, A., y Martínez, J. **Alimentos y Nutrición en la Práctica Sanitaria**. Madrid, España: Díaz de Santos. 2003
- Ayala, A. **Ecología Química**. México, México: Plaza y Valdés. 2003
- Baratto, E. **Compuestos Orgánicos. Terpenos**. 2007.
- Basile, L. **Fabricación de Celdas Fotoeléctricas**. [en línea]. 2009. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5540/1/Leonardo-Basile.pdf> [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015
- Bassler, B. y Waters, C. **Quorum Sensing: cell-to-cell communication in bacteria**. [en línea]. 2005. Disponible en: http://www.uib.cat/depart/dba/microbiologia/seminarios_old/QS%20Basler2005_comunication.pdf [Fecha de consulta: 04 de febrero de 2015]

- Battaner, E. **Biomoléculas. Una Introducción Estructural A La Bioquímica.** Salamanca, España: Ediciones Universidad Salamanca. 2012
- Belmonte, S., Franco, J., Viramonte, J. y Núñez, V. **Integración De Las Energías Renovables En Procesos De Ordenamiento Territorial** . Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2009
- Bevides, C., Guidi, D., y Best, G. **Energía Solar Fotovoltaica Para La Agricultura Y Desarrollo Rural Sostenibles.** Roma. 2000
- Blanch, A. **Biotecnología Ambiental. Aplicaciones Biotecnológicas En La Mejora Del Medio Ambiente.** Monográfico, 183. 2010
- Biologia.laguia2000.com. **Esterano.** [en línea]. De Biologia.laguia2000.com: <http://biologia.laguia2000.com/wp-content/uploads/2013/03/esterano-580x308-150x150.jpg> [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015]
- Botanical-online.com. **Capsantina.** [en línea]. 2015. El mundo de las plantas. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/medicinalescapsantina.htm> [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015]
- Britton, G., Jensen, L., y Pfander, H.. **Carotenoids Handbook.** Basel: Birkhauser Verlag AG. Canadá. 2004.
- Brown, L. y Challem, J. **Los Nutrientes Esenciales Para Potenciar Su Energía Y Aumentar Su Vitalidad.** Madrid, España: Nowtilus. 2007
- Campodocs.com. (04 de 03 de 2014). **Criptoxantina. Química, Biología Y Medicina, Otros Usos.** [en línea]. 4 de marzo de 2014. de Campodocs.com: http://campodocs.com/articulos-utiles/article_101860.html [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015]
- Carcelén, V. **Nuevos Materiales Fotovoltaicos Avanzados.** [en línea]. 11 de febrero de 2015. Blogs de Ciencia y Tecnología de Fundación Telefónica Nanotecnología Innovación Tecnológica y Transformación Social en i-Europa: <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/category/nanotecnologia-y-medio-ambiente/> [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2015]
- Carranco, M., Calvo, M. y Pérez-Gil, F. **Carotenoides Y Su Función Antioxidante.** ALAN, [en línea] Vol. 61 (Nº 3). 2011. Disponible en: <http://www.alanrevista.org/ediciones/2011/3/?i=art1>. [Fecha de consulta: 31 de enero de 2015]. ISSN 0004-0622
- Casio, H. **La Protección del Medio Ambiente.** EPA Journal. 2002
- Castro, V. **El Licopeno Y La Salud Humana.** Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali. 2013
- Causse, C. **Los Secretos De Salud De Los Antioxidantes.** Mónaco, Mónaco: Hispano Europea. 2000
- CEGA Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes. **¿Qué Es La Energía Geotérmica?** [en línea]. 1 de febrero de 2014. De CEGA Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes:

<http://www.cega.ing.uchile.cl/cega/index.php/es/informacion-de-interes-/ique-es-la-energia-geotermica> [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2015]

Cerdá, M., y Enciso, P. **Caracterización De Las Antocianinas De La Flor De Ceibo Como Sensibilizadores Naturales Para Su Uso En Celdas Fotovoltaicas**. REVISTA DEL LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY , 1-6. 2014

Cisternas, R. **BioCisternas: ¿qué pasa con el colesterol?** [en línea]. 3 de julio de 2008. De BioCisternas: <http://recisternas.blogspot.com/2008/07/qu-pasa-con-el-colesterol.html> [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015].

Constitución de la República, R.O 449 (Asamblea Constituyente 20 de octubre de 2008).

Cevallos, M., Covarrubias, A. y Porta, H. **La Primera Secuencia Completa De Un Genoma Vegetal. ¿Cómo Ves?** México: UNAM. 2003

Cristol, S., y Smith, L. **Química Orgánica**. Barcelona, España: Reverté .2000

Cuadrado, L. **Estudio Bromatológico Y Fitoquímico De La Jícama Para Determinar El Tiempo Óptimo De Cosecha**. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2004

Cuamatzi, Ó. y Melo, V. **Bioquímica de los Procesos Metabólicos**. Barcelona, España: Reverté. 2006

Cuevas, R. **El Canario Isabela**. Barcelona, España: Hispano Europea. 2008

Department of Energy Human Genome. **Cloning**. [en línea]. 23 de julio de 2013. de Human Genome Project Information: http://web.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/redirect.shtml [Fecha de consulta: 1 de febrero de 2015]

Díaz, R. **Grandes Dilemas De Las Políticas Educativas Ante Las Nuevas Realidades Sociales**. Madrid:: Santillana. 1990

Durán, J., Bruno, C., Alurralde, M., Antonuccio, F., Bolzi, C., Cabot, P., y otros. . **CONVENIO DE COOPERACIÓN CONAE-CNEA: DESARROLLO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PANELES SOLARES PARA MISIONES SATELITALES ARGENTINAS - ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN EL ÚLTIMO AÑO** . [en línea]. 2002. De ASADES: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t004-a003.pdf> [Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015]

Ecured.com. **Óxido de Titanio**. [En línea]. 2013. Disponible en: [\http://www.ecured.cu/index.php/Óxido_de_titanio_IV [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]

Edid, M. [en línea]. 27 de julio de 2010. **Fitoquímicos, los componentes químicos de las plantas**. De Nutrición Personalizada: <https://nutricionpersonalizada.wordpress.com/2010/07/27/fitoquimicos/> [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]

- Energía Geotérmica, Energía eólica.** [en línea]. 1999. Disponible en: <http://www.energia.gov.ar> [Fecha de consulta: 30 de enero de 2015].
- Energías renovables: ventajas y desventajas de la energía eólica.** Futuros, 4. Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña desarrollo Sustentable. 2006.
- Evens, M. **Beta-Carotene Colourings.** [en línea]. 2008. De School of Chemistry, University of Bristol: http://www.chm.bris.ac.uk/motm/carotene/beta-carotene_home.html [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2015]
- Feduchi, E., Blasco, I., Romero, C. y Yáñez, E. **Bioquímica: Conceptos Esenciales.** Madrid, España: Médica Panamericana. 2011
- Formentín, R. **Estudio de las características electrónicas de dispositivos fotovoltaicos moleculares: células Grätzel.** [en línea]. 2013. De Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/36015/MEMORIA.pdf?sequence=1> [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]
- Flores, E., Montesinos, J., y Mayani, H. **Células Troncales Mesenquimales.** [en línea]. 2006. Disponible en: <http://scielo.unam.mx/pdf/ric/v58n5/v58n5a11.pdf>. [Fecha de consulta: 31 de enero de 2015]
- FoodnewsLatan.com. (29 de 08 de 2014). **Importancia Nutricional De Los Pigmentos Carotenoides.** [en línea]. 29 de agosto de 2014. De Foodnewslatan.com: http://www.foodnewslatam.com/articulos/importancia-nutricional-de-los-pigmentos-carotenoides_006082 [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]
- Fowler, C., y Mooney, P. **Shattering: Food, Politics And The Loss Of Genetic Diversity.** Lima: University of Arizona . 1990
- Franco, A. **Color of pumpkins and cempazuchitl flowers.** [en línea]. 31 de octubre de 2011. De Sol-Gel, Nanoscience and Photonics: <http://solgelnanophotonics.blogspot.com/2011/10/colors-of-pumpkins-and-cempazuchitl.html> [Fecha de consulta: 2 de febrero de 2015.
- Gallegos, R. y Sanz, J. **Diccionario Akal del Color.** Madrid, España: Akal. 2001
- García, H. **Biotecnología: La Lámpara de Aladino: ¿Cómo se llegó a la moderna Biotecnología?** CONAC y T. 1994
- García, M., Quintero, R., y López, A. **Biotecnología Alimentaria.** México: Limusa. 2004
- Garrido, A. y Teijón, J. **Fundamentos de Bioquímica Estructural (2da ed.).** Madrid, España: Tébar. 2006
- Gevorkian, P. **Alternative Energy Systems In Building Design.** McGraw Hill Professional . 2009
- González, F. **Nomenclatura de Química Orgánica.** Murcia, España: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1991

- González, I. **Caracterización Química Del Color De Diferentes Variedades De Guayaba (*Psidium Guajava* L.)**. [en línea]. 2010. COLOMBIANA. De Biblioteca Digital Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2815/1/197449.2010.pdf> . [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015]
- Granado, F. y Olmedilla, B. **Carotenoides Y Salud Humana**. Fundación Española de la Nutrición, Unidad de Vitaminas. Sección de Nutrición. Clínica Puerta de Hierro. Madrid: Fundación Española de la Nutrición. 2001
- Ghirardi, Z., Lee, J. y Midrew, L., **Microalgae: A Green Source Of Renewable**. Canadá. 2000
- Holde, M. **Squalene**. [en línea]. Disponible en: http://web.squ.edu.om/med-Lib/MED_CD/E_CDs/Electronic%20Study%20Guide%20of%20Biochemistry/ch19/squalene.htm [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015].
- IEA, **Energía Solar, Fotovoltaica Y Termosolar, Generarán Más Electricidad Que Los Combustibles Fósiles**. [en línea]. 2014. Disponible en: <http://www.evwind.com/tags/international-energy-agency/> [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015].
- Jaramillo, J. **FP de Grado Superior Biología**. Madrid, España: MAD. 2004
- Jiménez, A. **Entrenamiento Personal**. Barcelona, España: INDE. 2007
- Jofra, M. y Puig, P. **Energía Renovables para Todos, Solar Fotovoltaica**. 2007
- Kalyanasundaram, K. y Grätzel, M. (2010). **Artificial Photosynthesis Biometric Approaches To Solar Energy Conversion And Storage**. [en línea]. Junio 2010. De Energy Biotechnology: <http://www.journals.elsevier.com/current-opinion-in-biotechnology/most-cited-articles/298>. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2015].
- Kinwoo media. **El aceite de palma/Betacaroteno**. Zaragoza, España. 2010
- La Biotecnología**. 2005. Disponible en: <http://www.agrium.com> [Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015].
- Las Ciencias De La Vida Y La Biotecnología En La Nueva Sociedad Del Conocimiento. La Base De La Nueva Economía**. [en línea]. 2004. Disponible en: <http://www.uoc.edu/dt/esp/saigi1104.pdf> [Fecha de consulta: 7 de febrero de 2015]
- Lock, O. **Colorantes Naturales**. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú. 1997
- Loustau, E., y Río, J. **¿Los Organismos Vivos Son Eficientes?** . Revista Fuente(10). 2012
- Lozano, J. **Energía: Las Células Solares De Grätzel. La Verdad / Ciencia Y Salud**. 2009
- Macy, R. **Química Orgánica Simplificada**. Barcelona, España: Reverté. 2005

- Magro, E. y Rodríguez, V. **Bases De La Alimentación Humana**. La Coruña, España: Netbiblo. 200
- Malvino, Miller, Zbar, **Prácticas de electrónica**. [en línea]. México: Alfaomega. 2001. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=UaxhQQfLMY8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=silicio+tipo+p+y+n&ots=rc6z7llvPj&sig=9tDH5kACJ2Av-WKu1YG5YuWiras&redir_esc=y#v=onepage&q=silicio%20tipo%20p%20y%20n&f=false [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2015]
- Manrique, E. **Los Pigmentos Fotosintéticos, Algo Más Que La Captación De Luz Para La Fotosíntesis**. . Ecosistemas. 2003
- Manzini, L. **Energías Renovables y Ambiente**. México. 2000
- Mapachito, I. **Astaxina, un potente oxidante**. [en línea]. 23 de agosto de 2013). Disponible en: <http://potiholic.blogspot.com/2013/08/astaxantina-un-potente-antioxidante.html> [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015 .
- Marcano, D. **Fitoquímica Orgánica**. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela. 2002
- Markell, J., y Namuth, D. **Los Pigmentos Vegetales Y La Fotosíntesis**. [en línea]. 2003. De: Plants and Soil Science eLibrary: <http://passel.unl.edu/pages/index.php?alllessons=1> [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2015].
- Martínez, M., Urías, A., Peña, E., Vásquez, M., Juárez, J., y Solorio, C. **Celdas Solares. Colorantes Mimetizados De La Fotosíntesis Empleados En La Generación De Electricidad**. Revista Naturaleza y Tecnología. [en línea] (4), 1-9.
- McGilvery, R. **Conceptos Bioquímicos**. Barcelona, España: Reverté. 1997
- Meléndez, A., Vicario, I. y Heredia, F. **Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos**. [en línea]. junio 2004. De Archivos Latinoamericanos de Nutrición: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222004000200011&script=sci_arttext [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015 . a
- _. **Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides**. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla, Área de Nutrición y Bromatología. Sevilla: ALAN. 2004. b
- _. **Pigmentos Carotenoides: Consideraciones Estructurales Y Físicoquímicas** [en línea]. 2007. De ALAN: http://www.alanrevista.org/ediciones/2007-2/pigmentos_carotenoides.asp [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015] c
- Minguez, M. **Carotenoides en el Pimentón**. Madrid, España: RAYCA. 1996
- . **Pigmentos Carotenoides En Frutas Y Vegetales; Mucho Más Que Simples "Colorantes" Naturales**. [en línea]. 1996 De Agroscic:

- http://digital.csic.es/bitstream/10261/5754/1/IG_AGROCSIC_4.pdf [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015]
- Nakicenovic, N., Grübler, A., y McDonald, A. **Global Energy Perspectives**. Estados Unidos: University of Cambridge Press. UK. 1998
- National Human Genome Research Institute. **Timeline/ Genome: unlocking Life's code**. [en línea]. 2009. De Genome: unlocking Life's code: <http://unlockinglifescode.org/timeline?tid=4> [Fecha de consulta: 02 de febrero de 2015]
- North Carolina Biotechnology Center. (1990). **Ciencias de la Salud y Biofarmacéuticas**. [en línea]. 1990. Disponible en: <http://www.ncbiotech.org> [Fecha de consulta: 07 de febrero de 2015]
- Nutrivea-es.com. **Luteína**. [en línea]. de Nutrivea-es.com: <http://www.nutrivea-es.com/lutein.htm> [Fecha de consulta: 12 de febrero de 2015]
- Ocampo, R. **Curso Práctico De La Química Orgánica. Enfocado A La Biología Y Química De Alimentos**. Manizales, Colombia. 2008
- Oñate, L. **Biología 1** (1era ed.). México, México: Cengage Learning. 2008
- Oxford University. **Química Diccionario Oxford- Complutense**. Madrid, España: Complutense. 2003
- Parellada, N. **Farmacognosia**. [en línea]. 2015. De Herbolari la neu: <http://www.herbolarilaneu.com/index.php/farmacognosia/131-metabolitos-secundarios/terpenos-o-terpenoides/hemiterpenos> [Fecha de consulta: 04 de febrero de 2015]
- Pérez, C. (2008-2015). **Carotenoides, Beneficios Y Propiedades Para La Salud**. [Fecha de consulta:] 13 de febrero de 2015, de Natursan: <http://www.natursan.net/carotenoides-beneficios-propiedades-para-la-salud/>
- Pimentel, D. y Pimentel, M. **Food, Energy And Society** . Florida, USA: CRC Press. 2008
- Quintana, M. **Celdas sensibilizadas de óxido de zinc**. Nuevos enfoques. Tesis (Doctor en Ciencias con mención en Química) , 94.2008
- Ramírez, R. **Lección 33: Pigmentos**. [en línea]. 2009. de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301203/301203/capitulo_7vitaminas_minerales_y_pigmentos.html [Fecha de consulta: 17 de febrero de 2015]
- Recio, J. **La Energía Hidráulica**. [en línea]. 2001. De Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/hidraulica.htm [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2015]
- Robinson, R. **Return To Resistance: Breeding Crops To Reduce Pesticide Resistance**. AgAccess Davis CA, 9. 1996

- Rocha, E., Carbo, P., Rodríguez, J., Martínez, E., y Armendáriz, E. **Avances Recientes Y Monitoreo De Celdas Solares Fotoelectroquímicas**. Universidad Politécnica de Victoria, Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Guanajuato: Ramos y Aguilera, (eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.
- Rodríguez, A. **A Guide To Carotenoide Analysis In Foods**. Estados Unidos. 2001
- Rodríguez, R. **Carotenoides Y Preparación De Alimentos: La Retención De Los Carotenoides Provitamina A En Alimentos Preparados, Procesados Y Almacenados**. Estados Unidos. 1999
- Romero, G. **Biotecnología: Generalidades, Riesgos Y Beneficios**. [en línea]. 2008. De Uned.es: <http://www.uned.es/experto-biotecnologia-alimentos/TrabajosSelecc/GloriaRomero.pdf> [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2015]
- Romo, A. **III. Radiación Solar, Aplicaciones De La Radiación, Capa Protectora De Ozono, Fotosíntesis, Atmósfera Oxidante, Condiciones Apropriadadas Para La Vida Animal**. [en línea]. 2002. De Química, Universo, Tierra y Vida: <http://www.biblioises.com.ar/Contenido/500/520/QUIMICA%20UNIVERSO,%20TIERRA%20Y%20VIDA.pdf> [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2015]
- Roper, D. **World Renewable Energy**. [en línea]. 2011. De roperld.com: <http://www.roperld.com/science/worldrenewableenergy.htm> [Fecha de consulta: 01 de febrero de 2015]
- Roque, A., Feijoo, L., Martínez, J., Miguel, T., Gonzáles, T., y otros. (2012). **Carotenoides. Microbiología Industrial y Biotecnología Microbiana**, 50. cambiar
- Sabila, C. **Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México**. México: SENER y GTZ. 2009
- Sahir, M. y Qureshi, A. **Assessment Of New And Renewable Energy Resources Potential And Identification Of Barriers To Their Significant Utilization In Pakistan**. [en línea]. 2008. Renewable and Sustainable Energy Reviews,. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2009/2009-t007-a006.pdf> [Fecha de consulta: 30 de enero de 2015].
- Santana, C. (octubre de 2009). **Avances En El Desarrollo Solar De Chile**. [en línea]. 2009. De Comisión Nacional de Energía "Avances en el desarrollo de la energía solar en Chile": http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/12_Utiles/banners/presentaciones/AvancesenelDesarrolloSolar.pdf [Fecha de consulta: 05 de febrero de 2015]
- Sapiña, F. **Tres Pigmentos III: Carotenoides**. Metode. 2009
- Schroeder, G. **La Clave del Desarrollo**. Revista Nuestro Planeta: La energía. 2003

- Silvas, E. **Energías Renovables.** [en línea]. 2012. Disponible en: <http://www.capitaldelabiobiodiversidad.es/2012/02/energias-renovables-definicion-y.htm> ([Fecha de consulta: 10 de febrero de 2015]
- Soberón, X. **Biotecnología Moderna En México: Áreas Estratégicas. Obra Científica. Trabajos Seleccionados De Divulgación Científica.** México: El Colegio Nacional. 1998
- Soriano, J. **Nutrición Básica Humana.** Universidad de Valencia. Valencia, España: PUV. 2006
- Teijón, J. **Bioquímica Estructural.** Tébar. 2001
- The Biotech Life Sciences Dictionary. **Sciences.** [en línea]. 2003. Disponible en: <http://www.eurodoctor.it/biotech.html> [Fecha de consulta: 10 de febrero de 2015]
- Toledo, T., Nagem, T., Rocha, M., Marciano, L., Magalhaes, N., Stringheta, P., Queiroga, E., Kling, G. y Da Silva, H. **Propiedades Biológicas De Los Tintes Naturales.** Universia. [en línea].23 de enero de 2014. Disponible en: <http://farmacia.ugr.es/ars/pdf/276.pdf> Fecha de consulta: 10 de febrero de 2015]
- UIB. **Estructura de lípidos.** [en línea]. De GMEIN: http://gmein.uib.es/molculas/lipidosjmol/index_jmol.html [Fecha de Consulta: 18 de febrero de 2015 .
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. **Lección once. Clasificación y Características de los lípidos.** [en línea]. De UNAD: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/232019/Modulo/Modulo_EXE/leccin_once_clasificacin_y_caractersticas_de_los_lpidos.html [Fecha de consulta: 5 de febrero de 2015
- Urango, L., Montoya, G., Cuadros, M., Henao, C. Z., López, L., Castaño, E., et al. [en línea]. 8 de mayo de 2009. **Bioactive compounds on food and health-promoting properties.** De: Perspectivas en la Nutrición Humana: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-41082009000100003&lng=pt&nrm=iso&tlng=e [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015 .
- USON. **Propiedades del óxido de zinc.** [en línea] 2009, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19483/Capitulo1.pdf> [Fecha de consulta: o el 3 de febrero de 2015]
- Velasco, J. **Biología 2do De Bachillerato.** Madrid, España: Editex. 1999
- Vicente, M. El óxido de zinc. [en línea]. noviembre de 2003. Disponible en. <http://blogs.creamoselfuturo.com/nano-tecnologia/2009/11/03/el-oxido-de-zinc/>. [fecha de consulta: 15 de febrero de 2015]
- Voet, D. **Fundamentos de Bioquímica. (2da ed.).** Madrid, España: Médica Panamericana S.A. 2009
- Walji, H. **Vitaminas y Minerales.** Madrid, España: Vida Natural. 1997.

- Weissman, I. **Stem Cell Research. Paths To Cancer Therapies And Regenerative.** JAMA, 1358. 2005
- Wikipedia. **Isopreno.** [en línea]. 2015. De Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Isopreno> [Fecha de consulta: 04 de febrero de 2015]
- Wikipedia. **Farnesol.** [en línea]. 27 de marzo de 2005. De Wikipedia la enciclopedia libre: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farnesol.png> [Fecha de consulta: 3 de febrero de 2015]
- Wikipedia. **File: Criptozantina.jpg.** [en línea]. 1 de marzo de 2005. De Wikipedia la enciclopedia libre: <http://it.wikipedia.org/wiki/File:Criptoxantina.jpg> [Fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]
- Wikipedia. **Ficheiro: Geraniol.png.** [en línea]. 7 de diciembre de 2003. De Wikipedia la enciclopedia libre: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Geraniol.png>
- Wikipedia. **Ficheiro: Prenol structure.png.** [en línea]. 30 de octubre de 2007. De Wikipedia la enciclopedia libre: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Prenol_structure.png [Fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]
- Wikipedia. . **Zeaxantina.** [en línea] .27 de marzo de 2013. De Wikipedia la enciclopedia libre: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Zeaxantina> [Fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]
- Williams, M. **Nutrición Para La Salud, La Condición Física Y El Deporte.** Barcelona, España: Paidotribo. 2002
- Wilmore, J. **Fisiología Del Esfuerzo Y Del Deporte.** Badanola, España: Paidotribo. 2007
- Yúfera, E. **Química Orgánica y Aplicada.** Barcelona, España: Reverté. 2007
- Zamora, A. **La Biotecnología En La Lucha Contra El Cambio Climático.** [en línea]. 22 de 12 de 2009. De Fundación Antama: <http://fundacion-antama.org/la-biotecnologia-en-la-lucha-contr-el-cambio-climatico/> [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2015]
- Zeb, A., y Mehmood, S. **Carotenoids contents from various sources and their potential health application.** Pakistan Journal of Nutrition, 3. 2004
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y. y Tingli, M. (2011). **Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers.** Journal of PhotoChemistry and Photobiology A: Chemistry. [en línea]. 2011. Disponible en: <http://finechem.dlut.edu.cn/matingli/pdf/zpdf.pdf> [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2015]

FIGURAS

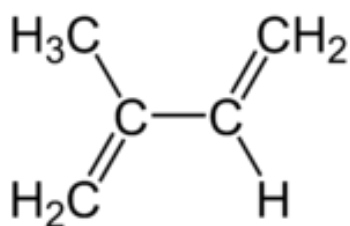


Figura 1. Molécula del isopreno (UIB, 2007).

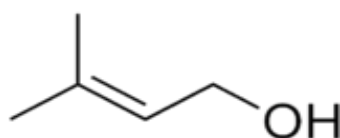


Figura 2. Molécula del prenol (Wikipedia, 2007).

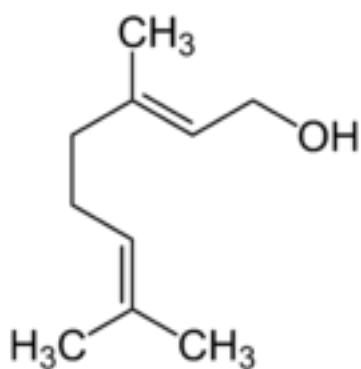


Figura 3. Molécula del geraniol (Wikipedia, 2003).

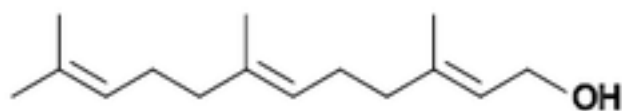


Figura 4. Molécula del farnesol (Wikipedia, 2005).

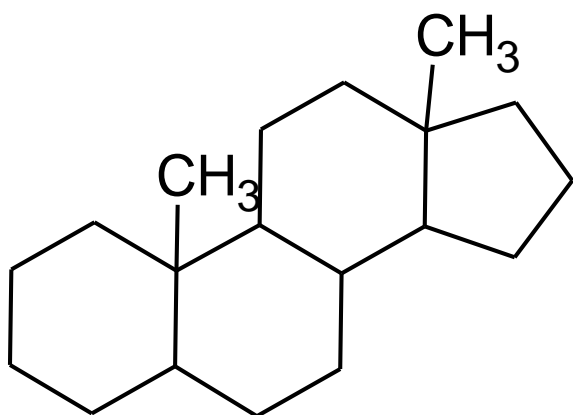


Figura 5. Molécula del esterano

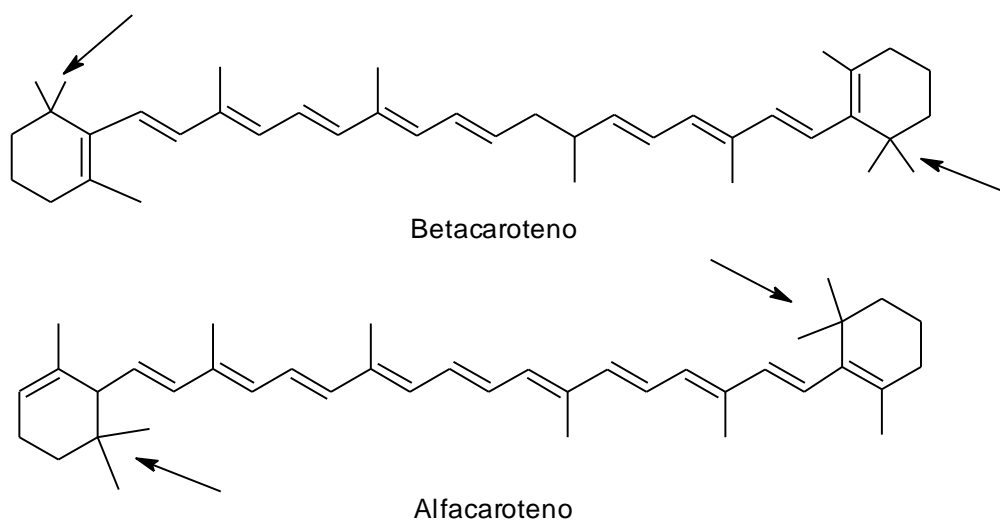


Figura 6. Molécula de betacaroteno y alfacaroteno

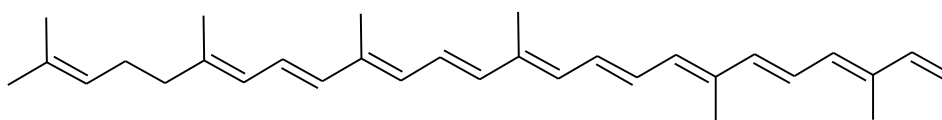


Figura 7. Molécula de licopeno

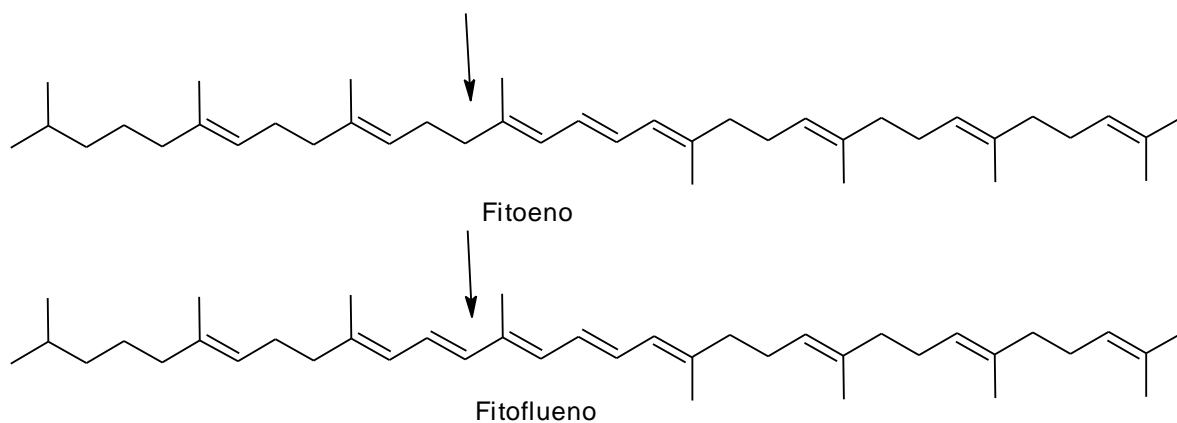


Figura 8. Molécula de fitoeno y fitoflueno

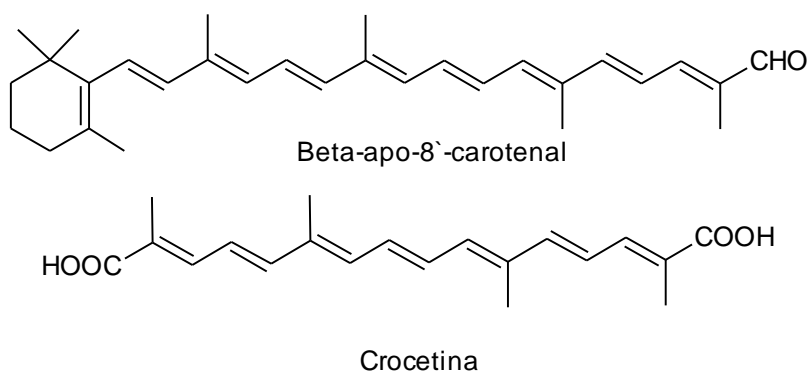


Figura 9. Moléculas de apocarotenoides

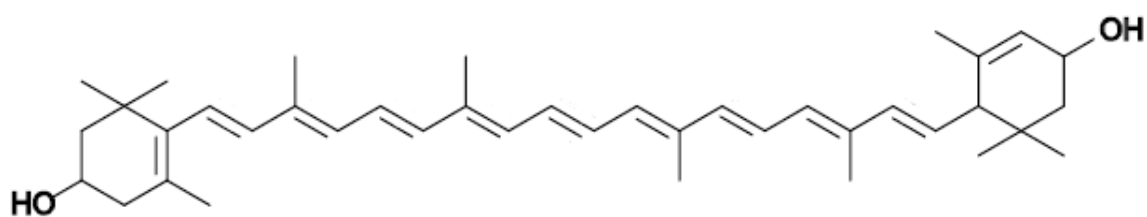


Figura 10. Molécula de luteína (Franco, 2011)

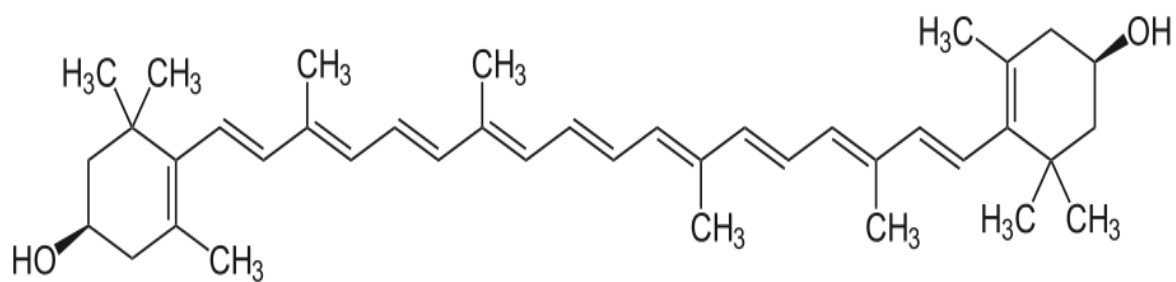


Figura 11. Molécula de zeaxantina (Wikipedia, 2013)

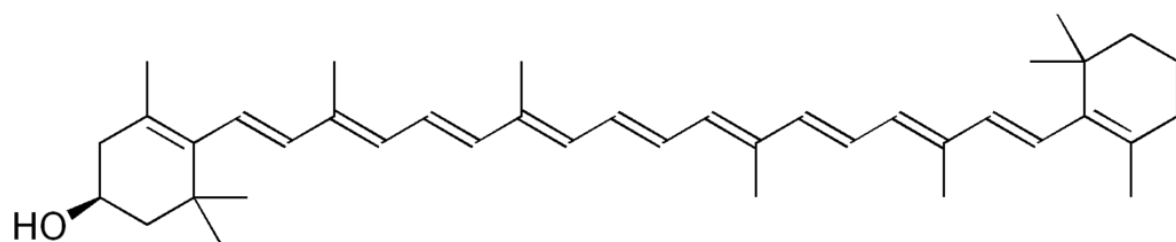


FIGURA 12. Molécula de criptoxantina (Wikipedia, 2005)

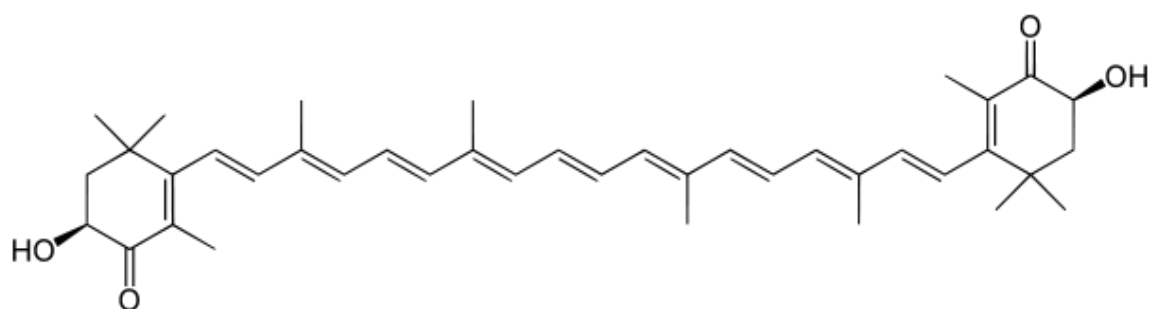


Figura 13. Molécula de Astaxantina (Mapachito, 2013).

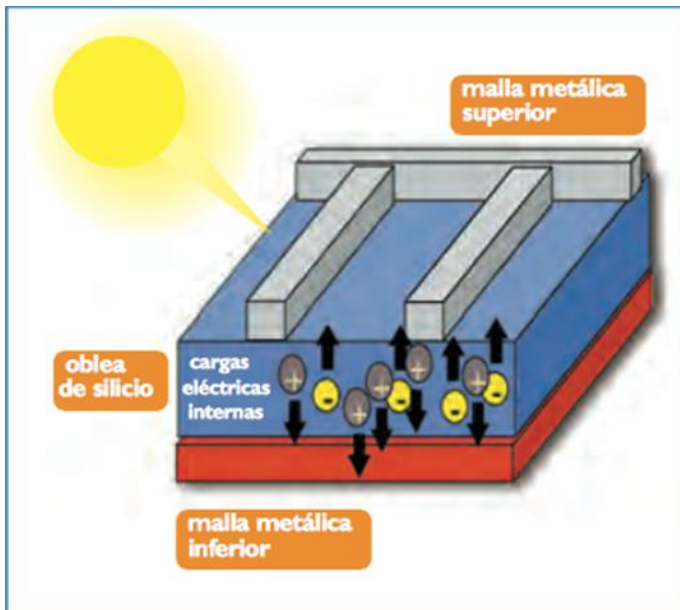


Figura 14. Estructura de las celdas fotovoltaicas fabricadas con silicio (Jofra y Puig, 2007).

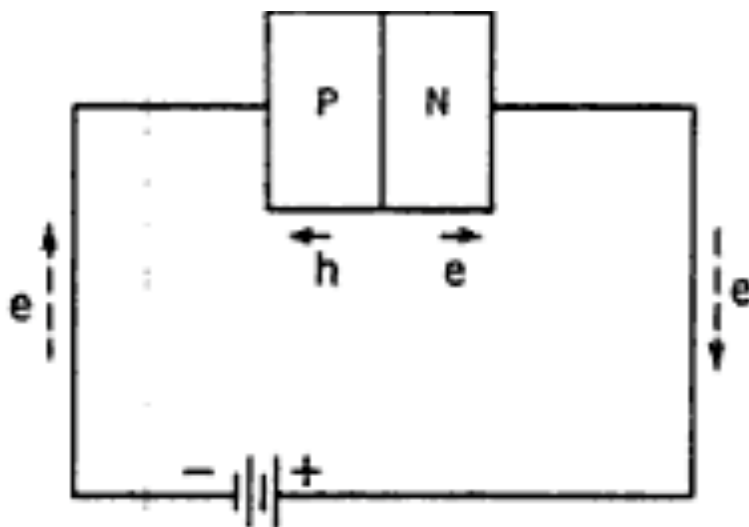


Figura 15. Polarización de la corriente mediante un diodo de silicio en unión PN. (Malvino, 2001)

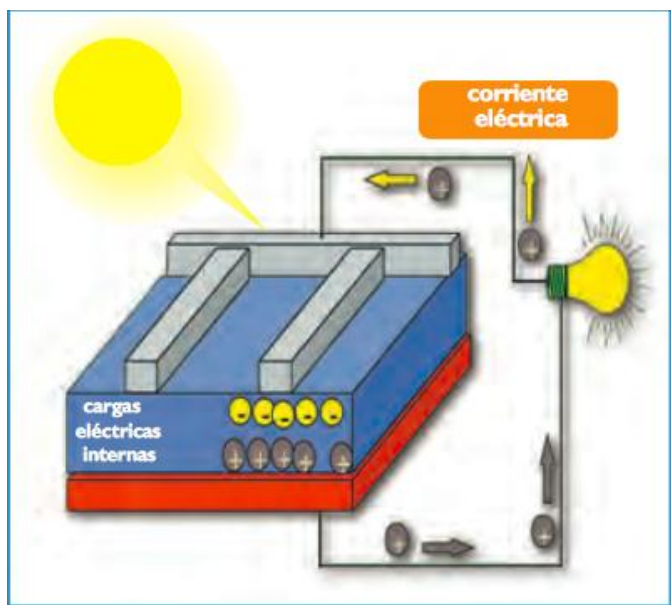


Figura 16. Circuito formado por el paso de cargas eléctricas por los Interconectores en una celda fotovoltaica (Jofra y Puig, 2007).

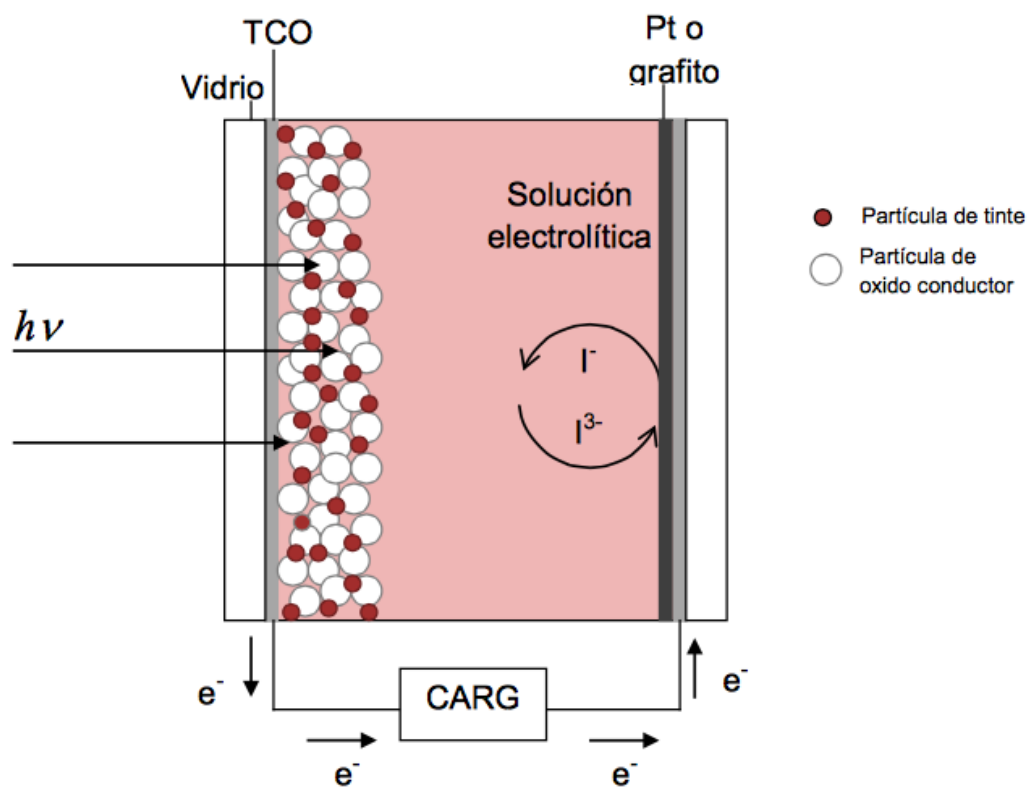


Figura 17. Esquema de una celda DSC (Rocha *et al.*, 2013)

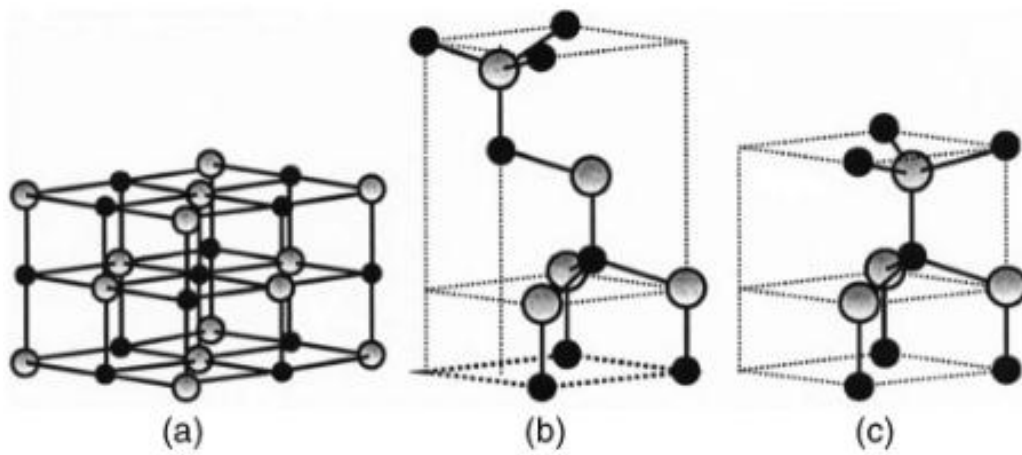


Figura 18. Estructuras cristalinas del óxido de zinc. (a) Sal de roca, (b) blenda de zinc y (c) wurzita (URSON, 2009).

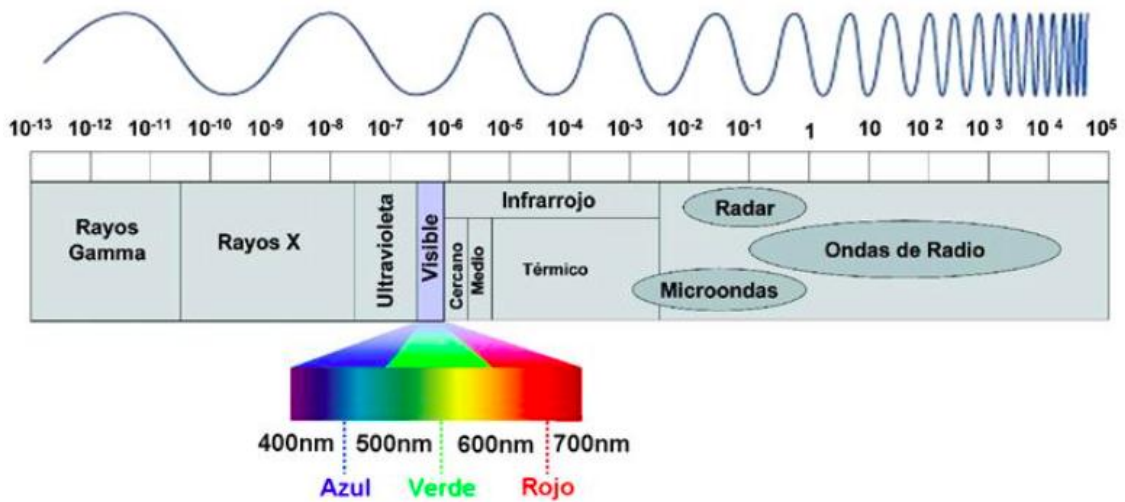


Figura 19. Espectro electromagnético con longitudes de onda en metros (Formentín, 2013).

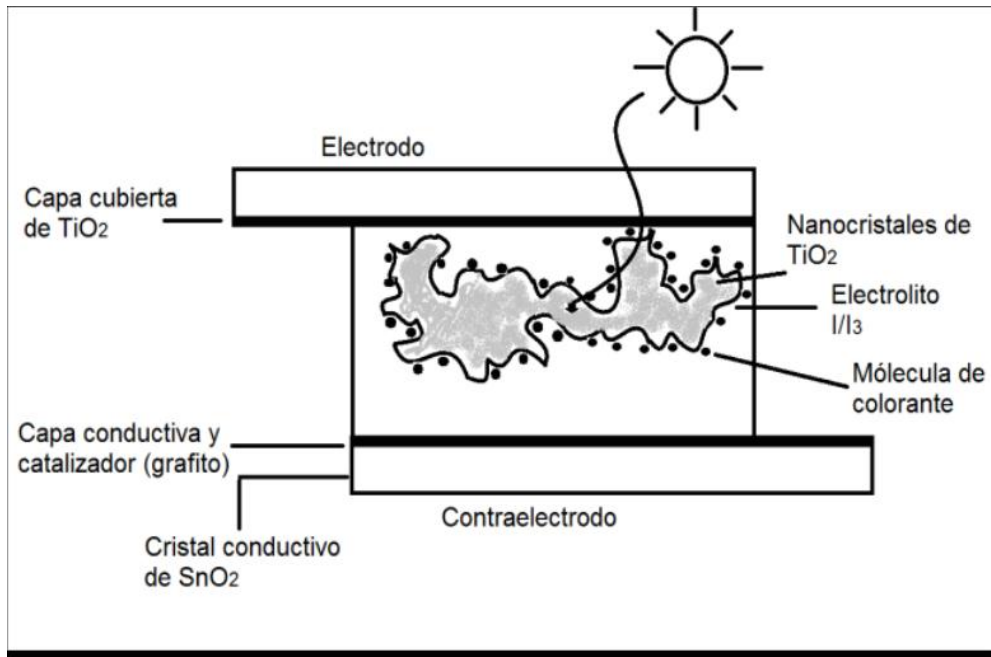


Figura 20. Esquema de una celda solar de dióxido de titanio con colorante (Kalyanasundaram y Grätzel, 2010).

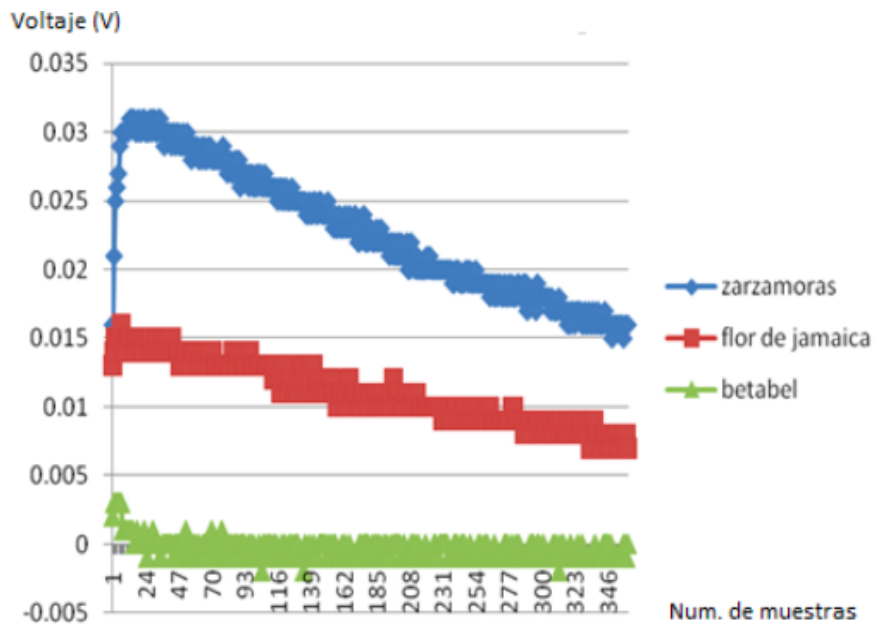


Figura 21. Comparación de los voltajes obtenidos al utilizar tres pigmentos diferentes (Rocha *et al.*, 2013).

CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Químicas con especialidad en Química Analítica , de la Sra. Ana Pamela Navarro Vásquez ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Mtr. María Fernanda Pilaquinga

Directora de la monografía

Quito, 20 de marzo de 2015

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
1. LOS CAROTENOIDES.....	9
1.1. Lípidos	10
1.1.1. Lípidos Saponificables	11
1.1.2. Lípidos Insaponificables	15
1.2. Propiedades De Los Carotenoides	24
1.3. Clasificación De Los Carotenoides	26
1.3.1. Carotenos.....	27
1.3.2. Apocarotenoides	29
1.3.3. Xantófilas	30
1.4. Funciones De Los Carotenoides.....	32
1.4.1. Provitamínicos.....	32
1.4.2. Antioxidantes.....	33
1.4.3. Cromóforos.....	36
1.4.4. Pigmentos Fotosintéticos	38
1.5. Fuentes Importantes De Carotenoides	40
2. LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	43
2.1. La Biotecnología Ambiental	43
2.1.1. La Biotecnología Del Siglo Xxi	45
2.1.2. Retos De La Biotecnología Ambiental.....	47
2.2. Energía Renovable, Fuente Importante De Energía.....	49

2.2.1. Tipos De Energías Renovables.....	50
3. CELDAS SOLARES	53
3.1. Paneles Solares.....	53
3.2. Celdas Fotovoltaicas.....	55
3.2.1. Sistema De Generación Fotovoltaica	58
4. APLICACIÓN DE LOS CAROTENOIDES EN LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL.....	61
4.1. Influencia De Los Carotenoides En La Biotecnología.....	61
4.2. Influencia De Las Celdas Solares En La Biotecnología	63
4.3. Células Solares De Grätzel.....	63
4.3.1. Sistema De Operación De Una Celda Fotovoltaica Sensibilizada Con Tinta	64
4.3.1. Elementos Empleados En Las Celdas Fotovoltaicas Sensibilizadas Con Colorante.....	65
4.3.2. Metodologías De Fabricación De Los Electrodo.....	69
4.4. Los Carotenoides Y Las Celdas Fotovoltaicas Sensibilizadas Con Pigmentos Naturales.....	70
4.4.1. Pigmentos Naturales	70
4.4.2. Celdas Solares Sensibilizadas Con Carotenoides	71
4.5. Estudios Realizados Para La Fabricación De Carotenoides En Celdas Solares Sensibilizadas Con Colorantes.	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
FIGURAS	87

TABLA DE CONTENIDOS	IV
---------------------------	----

TABLA DE FIGURAS	VII
------------------------	-----

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Molécula del isopreno.	87
Figura 2. Molécula del prenol	87
Figura 3. Molécula del geraniol	87
Figura 4. Molécula del farnesol	87
Figura 5. Molécula del esterano	88
Figura 6. Molécula de betacaroteno y alfacaroteno.....	88
Figura 7. Molécula de licopeno.....	88
Figura 8. Molécula de fitoeno y fitoflueno	89
Figura 9. Moléculas de apocarotenoides.....	89
Figura 10. Molécula de luteína	89
Figura 11. Molécula de zeaxantina.....	90
FIGURA 12. Molécula de criptoxantina	90
Figura 13. Molécula de Astaxantina	90
Figura 14. Estructura de las celdas fotovoltaicas fabricadas con silicio	91
Figura 15. Polarización de la corriente mediante un diodo de silicio en unión PN.	91
Figura 16. Circuito formado por el paso de cargas eléctricas por los Interconectores en una celda fotovoltaica	92
Figura 17. Esquema de una celda DSC	92
Figura 18. Estructuras cristalinas del óxido de zinc. (a) Sal de roca, (b) blenda de zinc y (c) wurzita.....	93
Figura 19. Espectro electromagnético con longitudes de onda en metros.	93
Figura 20. Esquema de una celda solar de dióxido de titanio con colorante.....	94

Figura 21. Comparación de los voltajes obtenidos al utilizar tres pigmentos diferentes).	94
--	----

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICA**

Los Carotenoides y su aplicación en la Biotecnología Ambiental

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias
Químicas con especialidad en Química Analítica**

ANA PAMELA NAVARRO VÁSQUEZ

Quito, 2015